

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE FARMACIA Y  
BIOQUÍMICA**

**DETERMINACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA POR  
ABSORCIÓN ATÓMICA DE LA CONCENTRACIÓN  
DE CADMIO Y ARSÉNICO EN AGUAS DE  
CONSUMO HUMANO DE LA COMUNIDAD  
URBANA DE CHUQUITANTA – DISTRITO DE SAN  
MARTÍN DE PORRES.**

**TESIS**

**para optar al Título Profesional de QUÍMICO FARMACÉUTICO**

**AUTOR**

**Bach. Luis Alberto Gonzales Poveda**

**Bach. Johél Osorio Fernández**

**ASESOR**

**Mg. José Alfonso Apesteguía Infantes**

**Lima – Perú**

**2014**

*A Dios que ilumina mi camino a cada paso  
y que en su gloria reposan mis ángeles guardianes:  
mi madre Maria Eloísa y mi tía Lucy.*

*A mi padre Santos Isaac y a mis hermanos:  
Renzo, Elisa y Omar, por ser fuente de fortaleza  
y apoyo constante en mi vida.*

*A mis padrinos, mi tío Julio y mi tía Lucha  
por su crianza, apoyo incondicional y valores enseñados,  
por su abnegación y sacrificio en brindarme todo lo que tengo,  
para ellos todo mi cariño, respeto y admiración eterna.*

*A mi hermano Willy: mi mejor amigo y mentor,  
por ser mi ejemplo y motor de todas mis virtudes,  
por inculcarme el deseo ferviente de ser mejor cada día,  
y por enseñarme que los triunfos son fruto del esfuerzo y dedicación.*

*A todos ustedes mil gracias.*

**Luis Alberto**

*Le doy gracias a mis padres Isidro y Estelita  
por apoyarme en todo momento, por los valores*

*que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad  
de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.  
Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.*

*A mi abuela Eugenia por apoyarme siempre  
y estar junto a mí cuando más lo necesito.  
A Panchita que aunque ya no se encuentre  
con nosotros físicamente, siempre estará presente  
en mi corazón, sé que desde el cielo siempre me  
cuida y me guía para que todo salga bien.*

*A mi hermana Deysi por ser parte importante  
de mi vida y representar la unidad familiar.  
A mis sobrinos Jazmín y Matías por llenar mi vida  
de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.*

*A Katherine Edith por siempre estar a mi  
lado en las buenas y en las malas.  
A Heydi y Yessenia que de una u otra manera  
me brindaron su apoyo y ayuda para la culminación de mi tesis.*

*A todos ustedes gracias totales.*

**Johél**

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***Nuestro sincero agradecimiento:***

*A nuestro Asesor Mg. Q.F. José Alfonso Apesteguía Infantes por su confianza, apoyo e invaluable orientación en la realización de nuestra Tesis, fruto de todo nuestro esfuerzo sembrado.*

### ***A los Señores miembros del Jurado Calificador y Examinador:***

*Dr. Mario Carhuapoma Yance  
Mg. Cesar Augusto Canales Martínez  
Q.F. Bertha Jurado Teixeira  
Mg. Luis Alberto Inostroza Ruíz*

*Por sus acertadas sugerencias que contribuyeron a enriquecer el valor del presente trabajo.*

*Un especial agradecimiento al Decano de la Facultad de Farmacia y Bioquímica:  
Mg. Cesar Máximo Fuertes Ruitón.*

***Luis Alberto y Johél***

# ÍNDICE

Página

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

SUMMARY

|          |  |    |
|----------|--|----|
| I.       | INTRODUCCIÓN.....  | 1  |
|          | HIPÓTESIS.....   | 2  |
|          | OBJETIVOS.....   | 3  |
| II.      | MARCO TEÓRICO.....   | 4  |
| 2.1.     | Cadmio.....  | 4  |
| 2.1.1.   | Propiedades fisicoquímicas y usos.....                             | 4  |
| 2.1.2.   | Fuentes y vías de exposición .....                                 | 5  |
| 2.1.3.   | Contaminación del agua potable con cadmio.....                     | 7  |
| 2.1.4.   | Valor máximo permisible de cadmio en agua potable.....             | 8  |
| 2.1.5.   | Toxicocinética.....  | 9  |
| 2.1.5.1. | Absorción.....   | 10 |
| 2.1.5.2. | Distribución.....  | 11 |
| 2.1.5.3. | Metabolismo.....   | 12 |
| 2.1.5.4. | Excreción.....   | 13 |
| 2.1.5.5. | Interacción con otros metales .....                                | 13 |
| 2.1.6.   | Toxicodinamia.....   | 14 |
| 2.1.6.1. | Metalotioneínas .....  | 15 |
| 2.1.7.   | Efectos agudos y crónicos en las intoxicaciones con<br>cadmio..... | 16 |
| 2.1.7.1. | Manifestaciones agudas.....  | 16 |
| 2.1.7.2. | Manifestaciones crónicas.....                                      | 17 |
| 2.2.     | Arsénico.....  | 19 |
| 2.2.1.   | Propiedades fisicoquímicas y usos.....                             | 19 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.2. Fuentes y vías de exposición .....  | 20        |
| 2.2.3. Contaminación del agua potable con arsénico.....                                    | 22        |
| 2.2.4. Valor máximo permisible de cadmio en agua potable.....                              | 23        |
| 2.2.5. Toxicocinética.....   | 25        |
| 2.2.5.1. Absorción.....  | 25        |
| 2.2.5.2. Distribución.....   | 26        |
| 2.2.5.3. Metabolismo.....  | 27        |
| 2.2.5.4. Excreción.....  | 29        |
| 2.2.6. Toxicodinamia.....  | 29        |
| 2.2.7. Efectos agudos y crónicos en las intoxicaciones con<br>arsénico.....                | 31        |
| 2.2.7.1. Manifestaciones agudas.....   | 32        |
| 2.2.7.2. Manifestaciones crónicas.....   | 33        |
| 2.3. Antecedentes de investigación sobre contaminación por<br>cadmio y arsénico.....       | 36        |
| 2.4. Comunidad urbana de Chuquitanta – San Martín de Porres.....                           | 38        |
| 2.4.1. Organización política administrativa.....   | 38        |
| 2.4.2. Caracterización geográfica.....   | 39        |
| 2.4.3. Clima y topografía.....   | 39        |
| <b>III. PARTE EXPERIMENTAL.....</b>  | <b>42</b> |
| 3.1. Tipo y diseño de la investigación .....   | 42        |
| 3.2. Metodología analítica empleada.....   | 42        |
| 3.3. Fundamento del método analítico empleado.....   | 42        |
| 3.4. Análisis estadístico.....   | 43        |
| 3.5. Equipos y materiales.....   | 43        |
| 3.5.1. Características del espectrofotómetro de absorción<br>atómica para la medición..... | 43        |
| 3.5.2. Accesorios.....   | 44        |
| 3.6. Reactivos.....  | 44        |
| 3.7. Selección de la muestra a examinar.....   | 44        |
| 3.8. Obtención y recolección de la muestra.....  | 45        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.8.1. Agua de consumo humano proveniente del reservorio<br>central de almacenamiento de SEDAPAL..... | 45        |
| 3.8.2. Agua de consumo humano proveniente de camiones<br>cisterna.....                                | 45        |
| 3.8.3. Agua de consumo humano proveniente de cilindros<br>plásticos de las viviendas.....             | 46        |
| 3.9. Transporte y conservación de las muestras.....   | 46        |
| 3.10. Métodos.....  | 47        |
| 3.10.1. Cadmio.....   | 47        |
| a) Programa del horno de grafito para detectar cadmio .....   | 47        |
| b) Condiciones instrumentales para el análisis de cadmio..  | 47        |
| c) Obtención de la curva de calibración para cadmio.....  | 48        |
| 3.10.2. Arsénico.....   | 50        |
| a) Programa del horno de grafito para detectar arsénico.....  | 50        |
| b) Condiciones instrumentales para el análisis de arsénico.   | 50        |
| c) Obtención de la curva de calibración para arsénico .....   | 51        |
| <b>IV. RESULTADOS.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>V. DISCUSIÓN.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>62</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>63</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>69</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Valores Estándares de referencia para el Cadmio (Según OMS y UE).....   | 9  |
| Tabla 2. Valores Estándares de referencia para el Arsénico (Según OMS y UE).....   | 25 |
| Tabla 3. Temperatura del programa del horno de grafito para detectar cadmio..  | 48 |
| Tabla 4. Datos para hallar la curva de calibración del cadmio.....   | 49 |
| Tabla 5. Temperatura del programa del horno de grafito para detectar arsénico..  | 51 |
| Tabla 6. Datos para hallar la curva de calibración del arsénico.....   | 52 |
| Tabla 7. Distribución de las muestras de agua según su procedencia.....  | 53 |
| Tabla 8. Resultados de los análisis en aguas de consumo humano de la Comunidad Urbana de Chuquitanta – Distrito de San Martín de Porres..... | 54 |
| Tabla 9. Media y desviación estándar de los valores de cadmio en ppb (muestras provenientes del reservorio central de SEDAPAL).....          | 55 |
| Tabla 10. Media y desviación estándar de los valores de cadmio en ppb (muestras provenientes de camión cisterna).....                        | 55 |
| Tabla 11. Media y desviación estándar de los valores de cadmio en ppb (muestras provenientes de cilindros plásticos de las casas).....       | 55 |
| Tabla 12. Media y desviación estándar de los valores de arsénico en ppb (muestras provenientes del reservorio central de SEDAPAL).....       | 56 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 13. Media y desviación estándar de los valores de arsénico en ppb<br>(muestras provenientes de camión<br>cisterna).....                  | 56 |
| Tabla 14. Media y desviación estándar de los valores de arsénico en ppb<br>(muestras provenientes de cilindros plásticos de las<br>casas)..... | 56 |
| Tabla 15. ANOVA de los valores de cadmio según recipientes.....  | 57 |
| Tabla 16. ANOVA de los valores de arsénico según recipientes.....  | 57 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Fuentes de cadmio en el medio ambiente.....                 | 7  |
| Figura 2. Ciclo del Arsénico en el ambiente.....                      | 22 |
| Figura 3. Biotransformación del arsénico inorgánico.....              | 28 |
| Figura 4. Mecanismo de acción del arsénico.....                       | 30 |
| Figura 5. Mapa Distrital de San Martin de Porres.....                 | 40 |
| Figura 6. Comunidad Urbana de Chuquitanta – San Martin de Porres..... | 41 |
| Figura 7. Espectrofotómetro de absorción atómica.....                 | 43 |
| Figura 8. Programa del horno de grafito para detectar cadmio.....     | 47 |
| Figura 9. Curva de calibración para el cadmio.....                    | 49 |
| Figura 10. Programa del horno de grafito para detectar arsénico.....  | 50 |
| Figura 11. Curva de calibración para el arsénico.....                 | 52 |
| Figura 12. Grafica de porcentajes según procedencia de muestras.....  | 53 |
| Figura 13. Grafico comparativo para cadmio.....                       | 55 |
| Figura 14. Grafico comparativo para arsénico.....                     | 56 |

## **RESUMEN**

La presente investigación fue realizada los primeros meses del año 2013, se determinó el grado de contaminación con arsénico y cadmio en aguas de consumo humano provenientes del reservorio central de agua potable del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) en la Comunidad Urbana de Chuquitanta - distrito de San Martín de Porres, y que es distribuida a la población mediante camiones cisternas que hacen llegar a las viviendas el agua de consumo humano. Finalmente esta agua es almacenada en las viviendas en cilindros plásticos en su mayoría para su posterior utilización. Los límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (2006) y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú (2010), señalan para cadmio: 0,003 mg/L y para arsénico: 0,01 mg/L. En las muestras de agua provenientes del reservorio central de SEDAPAL se determinó la concentración media de cadmio: 0,00417 mg/L y de arsénico: 0,00127 mg/L; en las muestras provenientes de los camiones cisternas se determinó la concentración media de cadmio: 0,00439 mg/L y arsénico: 0,00121 mg/L; en las muestras provenientes de los cilindros plásticos de las viviendas se determinó la concentración media de cadmio: 0,00108 mg/L y arsénico: 0,00167 mg/L. Estos resultados evidencian que la concentración de cadmio supera los límites permisibles en el reservorio central de SEDAPAL y en los camiones cisternas, ambas modalidades de consumo de agua, indicando un riesgo de intoxicación crónica y un grave problema de salud a la población.

**Palabras clave:** Arsénico, Cadmio, Cilindros, reservorios de SEDAPAL, Cisternas, límites máximos permisibles.

## **SUMMARY**

The present research was conducted the first months in 2013, we determined the grade of contamination with cadmium and arsenic in drinking water from storage water reservoirs of SEDAPAL, in the Chuquitanta Urban Community - San Martin de Porres district, which is distributed to the public through tanker trucks carrying water to homes for human consumption. Finally this water is stored in plastic cylinders houses mostly for later use. The maximum permissible limits set by the World Health Organization (2006) and Regulatory of Water Quality Drinking Peru (2010), indicated for cadmium was: 0,003 mg/L and arsenic was: 0,01 mg/L. In water samples from storage water reservoirs of SEDAPAL, it was determined the average concentration of cadmium that was: 0,00417 mg/L and arsenic that was: 0,00127 mg/L.; in water samples from tanker trucks was determined the average concentration of cadmium that was: 0,00439 mg/L and arsenic that was: 0,00121 mg/L; in water samples from plastic cylinders of houses were determined the average concentration of cadmium that was: 0,00108 mg/L and arsenic that was: 0,00167 mg/L. These results have shown that the concentration of cadmium exceeded the maximum permissible limits in the central reservoirs of SEDAPAL and tankers trucks, both water consumption modalities, indicated a risk of chronic intoxication and severe health for the population.

**Key words:** Arsenic, Cadmium, Tanker, SEDAPAL reservoirs, tanker trucks, maximum permissible limits.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligados a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos. <sup>(1)</sup>

Se denomina agua para consumo humano, la que puede ser consumida sin restricción debido a que por un proceso de purificación, no representa riesgo para la salud. Es sinónimo de agua potable, aquella que reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, y puede ser consumida por la población sin producir efectos adversos a su salud. <sup>(2)</sup>

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. <sup>(2)</sup>

Sin embargo, a nivel mundial aún se identifican deficiencias en la calidad de la prestación de los servicios, organización, ausencia de planificación e insuficiente inversión que puedan garantizar en el mediano y largo plazo el sostenimiento de las coberturas en los servicios de agua y saneamiento en numerosos países. <sup>(3)</sup>

En poblaciones donde el servicio de abastecimiento de agua es restringido, el deterioro de la calidad física, química y principalmente microbiológica al nivel de las viviendas, es frecuente como consecuencia de la manipulación y almacenamiento inadecuado. <sup>(4)</sup>

Es necesario tener en cuenta los riesgos por la pobre protección de las fuentes de agua, el inadecuado manejo del agua durante el proceso de tratamiento y la mala conservación de su calidad a nivel de las redes de distribución y en las viviendas

de la población. En la lista de agentes transmitidos por el agua que constituyen un problema mundial y que pueden producir efectos adversos a la salud se encuentran los agentes químicos como los metales tóxicos. <sup>(4)</sup>

Existen muchos efectos adversos en la salud conocidos desde hace muchos años debido a la exposición a metales tóxicos, a pesar de los numerosos esfuerzos por disminuir la contaminación ambiental, la exposición a los mismos continúa, y los niveles de exposición a los mismos continúan, y los niveles de emisiones continúan incrementándose en algunos lugares del mundo en particular en ciudades en vías de desarrollo. <sup>(5)</sup>

El presente estudio se basa en medir la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano y se realizará en la Comunidad Urbana de Chuquitanta, distrito de San Martín de Porres (Lima), por tratarse de una localidad que no cuenta con un control sanitario adecuado sobre la calidad del agua proveniente de un reservorio central (SEDAPAL), distribuida por camiones cisternas y finalmente almacenadas en las viviendas de la población para su consumo final.

## **HIPÓTESIS**

Las concentraciones de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano de la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martín de Porres), superan los niveles permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Determinar la presencia y concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano en la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martin de Porres).

### **Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano almacenada en cilindros de las viviendas, en la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martin de Porres).
- Determinar la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano proveniente de SEDAPAL (camiones cisterna), en la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martin de Porres).
- Determinar la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano proveniente del reservorio central de SEDAPAL, en la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martin de Porres).
- Comparar la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano almacenada en cilindros de las viviendas, en aguas de consumo humano proveniente de SEDAPAL (camiones cisterna), en aguas de consumo humano proveniente del reservorio central de SEDAPAL, en la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martin de Porres) con lo establecido por OMS.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Cadmio**

El cadmio es un considerado un oligoelemento contaminante ambiental, se encuentra ubicado en el grupo IIB de la tabla periódica de elementos químicos, se halla en la corteza terrestre asociado con minerales de zinc, plomo y cobre, sedimentos, aire y agua. Se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo.<sup>(6)</sup>

Ocupa un lugar próximo al plomo y al arsénico en importancia toxicológica, ya que sus niveles en el medio ambiente son resultantes de la actividad industrial y agrícola siendo considerado uno de los elementos más peligrosos para la alimentación humana, particularmente por su carácter acumulativo.<sup>(7)</sup>

Los alimentos pueden contaminarse con el cadmio, pasando desde el suelo y/o agua contaminados a los vegetales y de éstos a los animales y al hombre.<sup>(8)</sup>

#### **2.1.1. Propiedades fisicoquímicas y usos**

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48; peso atómico de 112,40 y densidad relativa de 8,65. Es un metal de color blanco con un ligero matiz azulado, blando, dúctil, maleable y resistente a la corrosión. Su punto de fusión es de 320,9 °C y de ebullición de 765 °C. Insoluble en agua y en disolventes orgánicos, pero soluble en ácidos, nitratos y cloruros. Es volátil se puede alea con numerosos metales en estado de fusión, oxida lentamente al aire en presencia de humedad, calentado a altas temperaturas arde, desprendiendo vapores de óxido de color amarillo - rojizo.<sup>(9)</sup>

El cadmio está distribuido en toda la corteza terrestre, no existe en su estado puro, sino asociado a otros minerales como el plomo, cobre y zinc. En la actualidad, existe una amplia utilización del cadmio en la industria, lo cual puede convertirlo en uno de los mayores contaminantes del ambiente.<sup>(10)</sup>

El cadmio, sus aleaciones y sus compuestos se utilizan en una variedad de materiales de consumo e industriales. El uso dominante de cadmio es en las



baterías de Níquel-Cadmio (83 % del consumo total de cadmio). También existe demanda de cadmio para otros usos, tales como pigmentos para plásticos, cerámica y vidrios. Las sales de cadmio se han utilizado en una capacidad limitada como fungicida para campos de golf y céspedes caseros. El cloruro de cadmio se utiliza en fotografía, fotocopias, teñido, fabricación de pigmentos, galvanoplastia, lubricantes y en la fabricación de espejos. <sup>(8)</sup>

### **2.1.2. Fuentes y vías de exposición**

El cadmio es un elemento ampliamente distribuido, pero escasamente se encuentra en la corteza terrestre en concentraciones que van desde 0,1 a 5 ppm.

<sup>(8)</sup> Este metal se encuentra más a menudo combinado con otros elementos (tales como oxígeno, cloro o azufre) formando compuestos. En el ambiente se adhiere fuertemente a partículas en la tierra, parte del cadmio se disuelve en el agua, no se degrada pero puede cambiar de forma, las plantas y animales pueden incorporarlo a su organismo, permanece en el organismo por largo tiempo y puede bioacumularse. <sup>(6)</sup>

El cadmio está presente como un constituyente menor e inevitable en casi todos los concentrados de zinc, los que contienen por lo general 0,1 a 0,3 % de cadmio. Este elemento proviene principalmente del desgaste de las rocas. Sus depósitos están asociados geoquímicamente a los de zinc. La principal fuente de contaminación ambiental por cadmio es la roca fosfórica con alto contenido del metal y usada para la fabricación de fertilizantes. Cabe aclarar que los procesos naturales por los cuales se libera cadmio son insignificantes como fuente de contaminación en comparación con el que procede de las actividades del hombre. <sup>(11)</sup>

El cadmio está presente en las actividades industriales, ya sea como componente de la materia prima, como es el caso de las industrias de baterías y colorantes, o como parte de los subproductos del proceso, como es el caso de la obtención del zinc. Las industrias que han presentado mayor riesgo, por la presencia del cadmio, según su rama o tipo, son las siguientes: baterías y acumuladores, cables eléctricos, células fotoeléctricas, cloruro de polivinilo, colorantes de cadmio,

equipos para ruedas, equipos nucleares, fusibles, joyería, laminados a vapor, soldadura, tapones de extinguidores.<sup>(12)</sup>

Las actividades mineras, tanto para el cadmio como para otros metales, son la fuente más evidente y las que pueden causar las concentraciones más altas del cadmio, ya que este metal se encuentra frecuentemente incorporado en diversos minerales.<sup>(12)</sup> Sus principales productores son los países europeos, Japón, Estados Unidos de América y Canadá. En los últimos años, las aplicaciones del cadmio y sus compuestos se han visto sujetos a una presión cada vez mayor debido al peligro que representan para el medio ambiente.<sup>(11)</sup>

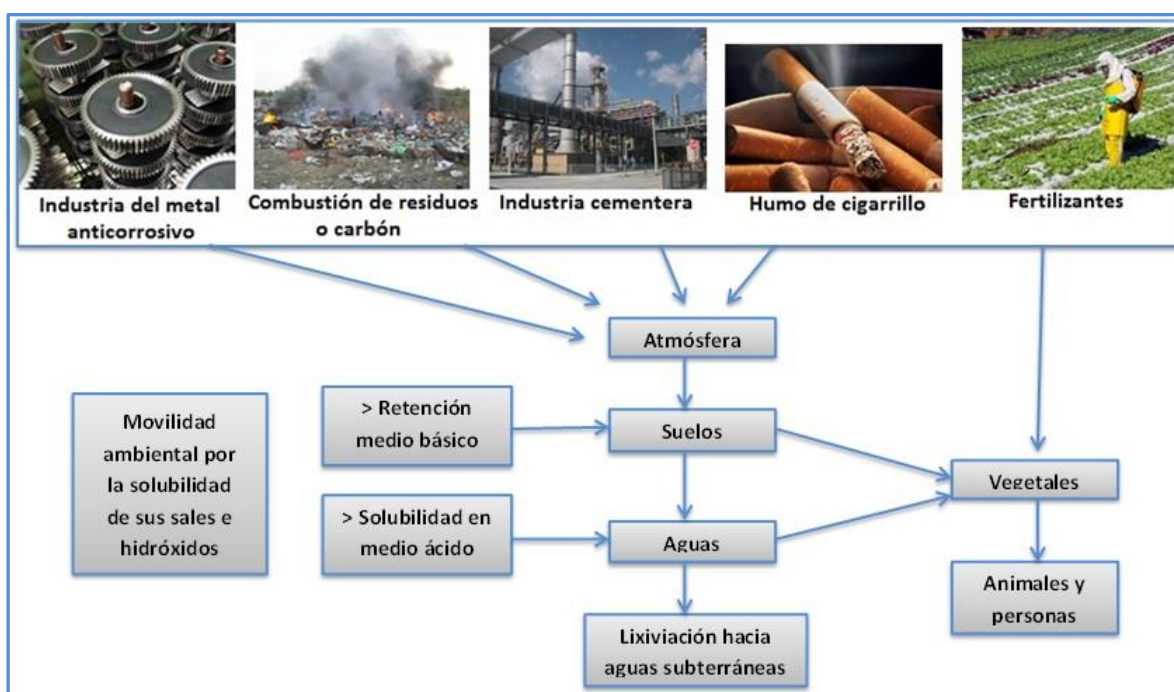
Fumar es otra importante fuente de cadmio, el tabaco contiene cadmio, algo del cual es inhalado en el humo. Muchos fumadores tienen alrededor del doble de cadmio en sus organismos que los no fumadores. Cada cigarrillo contiene alrededor de 1 - 2,3 µg de cadmio. Parte de esto se elimina con la combustión, pero se inhala de 0,1 - 0,2 µg/cigarrillo, lo que puede causar una acumulación de 15 mg de cadmio en el organismo al cabo de 20 años de haber fumado 20 cigarros diarios.<sup>(13)</sup>

Los efectos del cadmio en el medio abiótico indican que la mayor parte del cadmio que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra y en las aguas de la región cercana a la fuente de emisión. A partir de ésta, el cadmio es ingerido por los organismos y transportado a todos los eslabones de las cadenas alimenticias. Esta vía de asimilación es la principal ruta para los animales y el hombre. Es evidente que grandes cantidades de cadmio se movilizan constantemente a través de las actividades del hombre y que se dispersan en toda la ecósfera. Las concentraciones de cadmio de origen natural en los principales ecocompartimientos han aumentado durante la industrialización y, se han detectado elevadas concentraciones de cadmio en algunos vegetales y animales. A pesar de que aún no se hacen patentes los daños que éste provoca en los ecosistemas, sin duda alguna, algunas especies animales se encuentran en peligro.<sup>(11)</sup>

Los efectos en el medio biótico indican una restricción constante en el uso del cadmio, tanto para las aplicaciones existentes como para el desarrollo de las nuevas tecnologías. Esto último se debe a que se ha comprobado que el cadmio

es persistentemente tóxico aún en concentraciones muy pequeñas y a que se concentra fuertemente en las cadenas alimenticias. Su tiempo de vida media en los organismos (especialmente en los mamíferos) es indefinido y puede durar varios años. <sup>(11)</sup>

Se ha comprobado que el cadmio es altamente tóxico aun en cantidades muy pequeñas y que se concentra fuertemente en las cadenas alimentarias; puede ingresar al organismo humano especialmente con la ingestión de alimentos contaminados y por inhalación de este metal. La ingestión de este metal varía según los países, desde un rango menor de 50  $\mu\text{g}/\text{día}$  hasta 150  $\mu\text{g}/\text{día}$ . En ambientes urbanos se ingiere entre 15 a 17  $\mu\text{g}/\text{día}$ . En fumadores la ingesta aumenta ya que, existe de 1 a 2,3  $\mu\text{g}/\text{cigarro}$ . <sup>(2)</sup>



**Figura 1.** Fuentes de cadmio en el medio ambiente. <sup>(13)</sup>

### 2.1.3. Contaminación del agua potable con cadmio

La contaminación del agua potable con cadmio puede ocurrir como resultado de impurezas de cadmio en las tuberías galvanizadas de zinc o en la soldadura, en los calentadores de agua, grifos, etc. También ha ocurrido contaminación del agua

potable por la filtración de cadmio a los mantos freáticos a partir de los lodos que contengan óxidos de cadmio. <sup>(11)</sup>

Normalmente, el agua potable contiene concentraciones muy bajas de cadmio del orden de 1 µg/litro o menos; en algunas ocasiones se ha informado de niveles que llegan a los 5 µg/litro, muy raras veces, se han encontrado niveles que llegan a los 10 µg/litro. <sup>(15)</sup>

Se calcula que la exposición diaria al cadmio que ocurre mediante el agua, tomando como base un consumo de dos litros de agua al día, fluctúa entre 1 µg a más de 10 µg al día. Por supuesto que estas cantidades han sido calculadas basándose en el supuesto de que se haya ingerido todo el cadmio proveniente del agua; sin embargo, es posible que en la preparación de bebidas (como el caso del té), no todo el cadmio se ha consumido, ya que parte del mismo puede quedar adherido a la superficie de los utensilios, etc. <sup>(15)</sup>

#### **2.1.4. Valor máximo permisible de cadmio en agua potable**

La primera edición de las Guías para la Calidad del Agua Potable elaborada por la OMS, publicada en 1984, estableció un valor de referencia de 0,005 mg/L para el cadmio en el agua de consumo. Este valor se redujo a 0,003 mg/L en las Guías de 1993 basándose en la ingestión semanal tolerable provisional (ISTP) establecida por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (en inglés *JECFA: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*). <sup>(15)</sup>

Las Guías para la Calidad del Agua Potable elaborada por la OMS, publicada en 1984, explican los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Asimismo describe los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos. Las Guías se consideran reflejo de la opinión oficial del sistema de las Naciones Unidas sobre cuestiones relativas a la calidad del agua y la salud. La finalidad principal de las Guías para la calidad del agua potable es la protección de la Salud Pública. El límite máximo permisible establecido para cadmio en agua potable es: 0,003 mg/L. <sup>(15)</sup>

En el Perú mediante Decreto Supremo N° 031-2010-SA (publicado en el Diario El Peruano el 26 de setiembre de 2010) se aprobó el “Reglamento sobre Calidad del Agua para Consumo Humano”. En dicho documento se establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población. El valor de referencia permisible para cadmio en agua potable para Perú está basado en el valor de la OMS. <sup>(1)</sup>

**Tabla 1.** Valores Estándares de Referencia para el Cadmio (Según OMS y UE). <sup>(15)</sup>

| VALORES DE REFERENCIA PARA CADMIO |                      |                     |                                  |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|
| Parámetro                         | Estándares de la OMS | Estándares Europeos | Límite máximo permisible en Perú |
| Cadmio (Cd)                       | 0,003 mg/L           | 0,005 mg/L          | 0,003 mg/L                       |

### 2.1.5. Toxicocinética

El cadmio es un oligoelemento contaminante ambiental, prácticamente ausente del organismo de un recién nacido, pero que se va acumulando con la edad hasta alcanzar a los 50 años un máximo de 20 a 30 mg de cadmio en el individuo medio no sometido a exposición diaria de los cuales la mitad de ella se halla en los riñones y el hígado. <sup>(2)</sup>

El cadmio es un agente tóxico acumulativo, con una vida media en el organismo total de 10 a 30 años. Con la exposición continua las concentraciones del metal en los tejidos aumentan durante toda la vida. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 mg, dependiendo de la situación geográfica y sobretodo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble. <sup>(10)</sup> El hábito de fumar hace que aumente la cantidad de cadmio depositada en el pulmón. Un cigarrillo puede contener de 0,9 - 2,3 µg y se ha calculado que se inhala aproximadamente el 10 % de esa cantidad. <sup>(16)</sup>

### **2.1.5.1. Absorción**

El Cadmio ingresa en el organismo mediante dos vías principales: la vía pulmonar, por inhalación de polvos y la vía digestiva, ingiriéndose directamente a partir de las manos contaminadas (cuando los trabajadores comen o fuman en lugares de trabajo o por falta de higiene).<sup>(16)</sup>

La cantidad total de cadmio en el organismo guarda relación con la absorción del mismo de los alimentos, el agua y el medio ambiente en general. El cadmio alimentario se acumula sobre todo en los riñones y en menor medida en el hígado. Solo una pequeña proporción del cadmio ingerido se absorbe, probablemente 5 a 10 % dependiendo de la cifra real de los factores alimentarios como la ingestión de proteínas, calcio, vitamina D y de otros oligoelementos metálicos tales como el zinc.<sup>(2)</sup>

El cadmio entra al torrente sanguíneo por absorción en el estómago o en los intestinos luego de la ingestión de comida o agua, por absorción en los pulmones después de la inhalación. Muy poco cadmio entra al cuerpo a través de la piel. Usualmente sólo es absorbido por la sangre alrededor del 1 al 5 % del cadmio que es ingerido por la boca, mientras que se absorbe alrededor del 30 al 50 % del que es inhalado.<sup>(13)</sup>

En exposición no laboral, la alimentación es la fuente más importante de ingesta de cadmio; la absorción por el tracto gastrointestinal es mala y es de aproximadamente 5 %. Las dietas deficientes en calcio, hierro o proteína incrementa la velocidad de su absorción. En exposiciones laborales, la inhalación es la ruta principal de ingreso y la absorción a partir de esta vía depende del tipo de compuesto inhalado, del tamaño de las partículas y de su retención en el pulmón.<sup>(6)</sup>

El cadmio no se somete directamente a conversiones metabólicas. Una vez absorbido el cadmio se transporta por la sangre, ligado de modo principal a células hemáticas y albúmina. Llega en primer término al hígado, para ser redistribuido lentamente de ahí a los riñones, en la forma de un complejo de cadmio-metalotioneína (Cd-Mt). Alrededor del 80 – 90 % de cadmio en el cuerpo se une a la metalotioneína. La metalotioneína es una proteína de bajo peso molecular con gran afinidad por los metales como el cadmio y el zinc. La metalotioneína es

inducible por exposición a varios metales como el cadmio, y las concentraciones altas de esta proteína que se liga a metal y protegen contra la toxicidad por cadmio al impedir la interacción de éste con otras macromoléculas funcionales.<sup>(17)</sup> El complejo cadmio-metalotioneína se filtra a través de los glomérulos a la orina primaria. Al igual que en el caso de otras proteínas y aminoácidos de bajo peso molecular, las células de los túbulos proximales reabsorben el complejo cadmio-metalotioneína de la orina primaria; en estas células, las enzimas digestivas degradan las proteínas en péptidos de menor tamaño y aminoácidos. Los iones de cadmio libres que se liberan tras la degradación de la metalotioneína inician una nueva síntesis de metalotioneína (su síntesis en el riñón, hígado e intestino, es inducida por el cadmio), que se une al cadmio y protege a la célula de los efectos sumamente tóxicos de los iones libres de cadmio.<sup>(10)</sup>

#### **2.1.5.2. Distribución**

Más del 70 % del cadmio que circula en la sangre se transporta ligada a los glóbulos rojos y la albúmina (15 %). Luego de su distribución, aproximadamente el 50 % de la carga total corporal de cadmio es como término medio de unos 30 mg alrededor de un tercio en los riñones (aprox. 30 %) y una sexta parte (aprox. 15 %) en el hígado. La cantidad en el hígado aumenta poco después de la exposición, en los riñones se incrementa con la edad. La importancia respectiva de estas dos zonas de almacenamiento depende de la intensidad y duración de la exposición, así como de la función renal.<sup>(14)</sup>

La semivida del cadmio es de 10 a 30 años. En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y aún secreción gastrointestinal, pero el cadmio que sale con heces en su mayor parte es el que no se absorbió. El cadmio atraviesa la barrera placentaria fácilmente, induciendo allí la síntesis de metalotioneína, con la que forma el complejo cadmio-metalotioneína, que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo, actuando como mecanismo protector frente al transporte de cadmio al feto. Al término del embarazo, la concentración de cadmio en la placenta es aproximadamente 10 veces más que en la sangre materna. Por el

contrario, la concentración de cadmio en el cordón umbilical es alrededor de 2 a 3 veces más baja que en la sangre materna. Por ello, se infiere que el cadmio puede interferir la evolución del embarazo por acción directa sobre el metabolismo de la placenta, pero no por acción directa sobre el feto. En el recién nacido el cadmio sanguíneo es de 30 a 50 % menor que el cadmio en la sangre materna. La leche materna sólo secreta pequeñas cantidades. <sup>(6)</sup>

### **2.1.5.3. Metabolismo**

El cadmio que llega al organismo a través de la ingesta alimentaria es absorbido a nivel intestinal. La absorción por el organismo adulto es del orden del 4 al 7 % del ingerido por los alimentos y bebidas, si bien puede verse incrementado cuando los niveles de ingesta proteica, de calcio, de zinc o de hierro son bajos. Una deficiencia en hierro incrementa la absorción de cadmio por vía gastrointestinal pudiendo llegar a ser del 15 %. <sup>(18)</sup> Por el contrario, el zinc disminuye la absorción de cadmio, probablemente estimulando la síntesis de metalotioneína. <sup>(19)</sup>

La absorción por vía inhalatoria depende de la solubilidad y tamaño de las partículas. El 15 % de las partículas de cadmio en el aire ambiental son absorbidas por los humanos mientras que la absorción de partículas del humo de los cigarrillos se estima en el 40%. <sup>(20)</sup> La absorción gastrointestinal, sin embargo, es baja. En animales se han encontrado valores de absorción gastrointestinal en torno al 8 %, alrededor del 6 % en humanos que consumieran hígado y cerca del 4,6 % en humanos que consumieran otro tipo de alimentos. <sup>(21)</sup>

Una vez absorbido el cadmio es transportado hasta el hígado donde induce la síntesis de proteínas de bajo peso molecular ricas en azufre (metalotioneínas). La liberación a sangre de este complejo es lenta por lo que se considera que el complejo Metalotioneína-Cadmio se acumula en hígado. Entre el 50 y el 85 % del cadmio absorbido se acumulan en hígado y riñón. El riñón puede llegar a acumular hasta el 30-60 % de la carga corporal de cadmio. La corteza renal resulta ser el mayor depósito de cadmio en el organismo. En el páncreas, la tiroides, el pulmón y los testículos pueden encontrarse pequeñas cantidades de este metal. El complejo se considera menos tóxico que el cadmio no enlazado por lo que se cree que la proteína puede actuar como agente desintoxicante. El complejo es



transportado por la sangre hasta el riñón donde es filtrado y reabsorbido por las células tubulares proximales donde las lisozimas lo degradan y liberan el cadmio libre al citoplasma. Sólo el 0,01 % del cadmio procedente de la dieta se elimina por la orina. La mayor parte del cadmio ingerido a través de los alimentos y del agua de bebida no se absorbe y se elimina principalmente en heces.

La concentración de cadmio en el organismo varía con el tipo de tejido y con la edad del individuo. La concentración en sangre y orina de individuos no expuestos suele ser inferior a 1 mg/L. La cantidad total en personas de 50 años no expuestas varía entre 5 y 30 mg. Si la persona es fumadora estos valores pueden aumentar entre un 10 y un 100 %.

La vida media biológica del cadmio en el organismo humano varía con la edad y es mayor en los niños que en los adultos para los cuales alcanza de 20 a 30 años.

(21, 20)

#### **2.1.5.4. Excreción**

El cadmio se excreta fundamentalmente en la orina y las heces, y en menor grado en la bilis, las secreciones gastrointestinales, el sudor, la saliva, el pelo y las uñas. La transferencia transplacentaria y la secreción en la leche materna son muy escasas. La cantidad excretada por día representa solo alrededor de 0,005 – 0,010 % de la concentración total del cuerpo. La eliminación fecal del metal, que es cuantitativamente más importante que la excreción urinaria, solo se toma en cuenta después de una toxicidad renal importante.<sup>(17)</sup>

Por orina, diariamente se elimina 0,007 % del contenido corporal y por heces 0,03 %. La vida media de excreción urinaria es de hasta 40 años. Tan sólo una pequeña fracción del cadmio del compartimento sanguíneo y otra del hígado, a través de la vía biliar, se elimina por heces.<sup>(10)</sup>

#### **2.1.5.5. Interacción con otros metales**

Cuando se habla de interacción con otros agentes es importante mencionar que el cadmio está clasificado como un metal blando (Cobre, Rodio, Paladio, Plata, Cadmio, Iridio, Platino, Oro, Mercurio, Talio, Plomo). Cuando alguno de estos elementos entra al organismo se comporta como un agente tóxico, sobre todo

porque todos ellos tienen varios estados de oxidación y pueden permanecer en un sitio sin que con esto haya una reacción lenta de intercambio que permita que se reduzca la concentración en dicho sitio. <sup>(22)</sup>

Hay algunas pruebas de la interacción entre el cadmio y otros metales, especialmente calcio y zinc, y se ha informado que el cadmio desplaza al zinc de su sitio de unión en muchas enzimas; también puede reemplazar al calcio en la proteína específica, calmodulina. El cadmio también reduce los niveles de hierro hepático, al competir con él por el sitio activo del transportador o del canal de la membrana celular. El cadmio y el cobre compiten por ligantes que contienen grupos sulfhidrilos (-SH), lo que impide la entrada del cobre a la célula, ya que el cadmio afecta a proteínas específicas de la membrana, al competir ya sea por un transportador o por un canal iónico. <sup>(22)</sup>

#### **2.1.6. Toxicodinamia**

Los metales por su gran afinidad a grupos amino y sulfhídricos reaccionan con estos formando complejos que van a afectar el control de las reacciones metabólicas, por inhibición de las actividades enzimáticas. En general se reconoce que la corteza renal es el órgano crítico para la acumulación de cadmio en el hombre. El daño severo al riñón puede elevar la excreción urinaria de proteínas totales hasta diez veces y las de bajo peso molecular como las beta 2 microglobulina hasta en cien veces. Produce descalcificación debido a que actúa a nivel de la sangre produciendo una eliminación de calcio muy alta que junto a la reabsorción renal disminuida dan lugar a la descalcificación. <sup>(13, 12)</sup>

El cadmio es un xenobiótico tóxico para el organismo, que se acumula en los tejidos humanos. Los órganos blanco son riñón y pulmón. En exposición laboral o ambiental, sus principales efectos tóxicos son: neumonitis química, disfunción renal con proteinuria y microproteinuria, y enfisema. El riñón es más sensible al cadmio que pulmón e hígado y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de bajo peso molecular, lo que causa “proteinuria de bajo peso molecular”. Concomitantemente, hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que

disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de alto peso molecular, que origina “proteinuria de alto peso molecular”.

(6)

Teóricamente, pues no se ha demostrado in vivo, la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos sulfhidrilo, oxhidrilo, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales: zinc, cobre, hierro y calcio. Sus principales interacciones serían:

- Unión fuerte del cadmio a los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas intracelulares, que inhibiría a las enzimas que poseen estos grupos y
- Desplazamiento del zinc de los enlaces sulfo (-S-) y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos, que se refleja en su deficiencia relativa. <sup>(23)</sup>

Se ha descrito alteraciones en la actividad enzimática de las carboxipeptidasa en competencia con el zinc o interferencias en la absorción del hierro de los alimentos que se manifiestan por una disminución en los niveles de hemoglobina que tienen carácter reversible. <sup>(12)</sup>

#### **2.1.6.1. Metalotioneínas:**

Los humanos están protegidos contra una exposición crónica a bajos niveles de cadmio gracias a una proteína rica en azufre, la metalotioneína, cuya principal función es regular el metabolismo del zinc. Debido a que esta proteína posee varios grupos sulfhidrilo, puede formar complejos con todo el cadmio ( $\text{Cd}^{+2}$ ) ingerido, el cual es eliminado subsecuentemente en la orina. Si la cantidad del metal que ingresa al organismo excede la capacidad de la metalotioneína, se almacena en el hígado y riñón y puede producir enfermedades renales. <sup>(22)</sup>

Al parecer, son las causantes del largo periodo de vida media biológica del cadmio y, mientras persiste este catión, hay una continua rotación entre la degradación completa y la resíntesis de la proteína. Es probable que las metalotioneínas desempeñen una función biológica muy importante en la regulación del metabolismo del cobre y del zinc. <sup>(11)</sup>

### **2.1.7. Efectos agudos y crónicos en las intoxicaciones con cadmio**

La exposición prolongada a niveles bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño al pulmón y fragilidad de los huesos. Respirar niveles más altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea. <sup>(24)</sup>

Los efectos de las intoxicaciones con cadmio pueden ser agudos o crónicos, y habitualmente son de carácter sistémico. Las intoxicaciones que se puedan presentar en la población general, salvo situaciones de accidentes o contaminaciones masivas, por ejemplo de alimentos, en general suelen ser de carácter crónico. En la población ocupacional es frecuente encontrar tanto intoxicaciones agudas como crónicas. <sup>(13)</sup>

#### **2.1.7.1. Manifestaciones agudas**

Cuando se ingieren alimentos o bebidas con altas concentraciones de cadmio, se pueden presentar irritaciones estomacales, náusea, vómito y diarrea, dolor abdominal y muscular, así como salivación. Los casos de intoxicación por inhalación son más graves y pueden llegar a provocar neumonitis química aguda y edema pulmonar. Una intoxicación aguda o subaguda ocasionada por inhalación de aerosoles que contengan cadmio a una concentración de  $1 \text{ mg/m}^3$  puede causar: irritación de las vías respiratorias, disnea, edema pulmonar, debilidad, fatiga, náuseas y severas alteraciones hepáticas y renales. <sup>(22)</sup>

La ingestión de bebidas o alimentos contaminados con cadmio pueden causar trastornos agudos en el tracto gastrointestinal. Los síntomas incluyen náuseas, salivación, vómitos, dolor abdominal tipo cólico y dolor de cabeza. En casos más severos se pueden presentar diarrea y shock. Estos síntomas aparecen con la presencia del cadmio en agua o en alimentos en concentraciones de alrededor de 15 ppm. <sup>(11, 13)</sup>

Los síntomas que produce la inhalación de cadmio son dolor de cabeza, irritación del tracto respiratorio, resequedad nasal y de la tráquea, tos, disnea, escalofríos,

debilidad general, respiración agitada, fiebre y, al final la muerte. El cadmio produce “neumonitis química” y, en algunas ocasiones edema pulmonar.<sup>(11)</sup>

#### **2.1.7.2. Manifestaciones crónicas**

Los efectos tóxicos de la exposición prolongada al cadmio difieren según la vía por la que esta se produzca. El riñón es afectado después de exposición pulmonar o gastrointestinal; se observan efectos intensos en los pulmones solamente después de exposición por inhalación.<sup>(17)</sup>

Por lo general, la intoxicación crónica ocurre con mayor frecuencia en la industria. Este tipo de intoxicación se caracteriza por enfisema pulmonar y daño renal con proteinuria. En estos casos se han observado también otros efectos como anemia, alteraciones hepáticas y cambios en el metabolismo de los minerales. La relativa gravedad del daño renal o pulmonar depende de la intensidad de la exposición y de la susceptibilidad del individuo.<sup>(11)</sup>

La ingestión prolongada del cadmio, aunque no es muy frecuente, se puede presentar en la población general. El ejemplo más conocido es el de Japón, donde se observó una grave enfermedad ósea, problemas gastrointestinales, anemia, daño renal y trastornos hepáticos (enfermedad *itai-ita*).<sup>(13)</sup>

La inhalación como la ingestión prolongada del cadmio han sido causa de variados daños al organismo, entre los cuales tenemos:

**\*Riñones:** La característica principal de una intoxicación con cadmio es el daño al riñón, ya que el cadmio afecta las funciones de reabsorción de los túbulos proximales. Generalmente, el primer signo es un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, que se conoce como proteinuria tubular. Otras alteraciones descritas son el aumento de la creatinina y de la urea en el plasma y la alteración de algunas pruebas funcionales renales (inulina, ácido úrico, reabsorción de fósforo y calcio y prueba de concentración de la orina). Estos daños y las alteraciones observadas pueden llevar a un cuadro grave con insuficiencia renal.<sup>(13, 11)</sup>

**\*Pulmones:** Los pulmones son considerados órganos críticos en la exposición al polvo de cadmio. Se han publicado casos de neumonitis química, con disnea, tos, expectoración, molestias torácicas y disfunción pulmonar. La consecuencia de la

inhalación excesiva de vapores y polvos de cadmio es la pérdida de la capacidad respiratoria, con un incremento correspondiente en el volumen pulmonar residual. Concentraciones de cadmio de más de  $5\text{mg/m}^3$  de aire, durante ocho horas, pueden causar un edema pulmonar tardío de carácter mortal. Otras alteraciones pulmonares son el enfisema, la bronquitis obstructiva crónica y la fibrosis pulmonar. <sup>(13, 11)</sup>

**\*Sangre:** Aparentemente el cadmio no tiene efecto directo en la hematopoyesis. Más bien parece tener efecto de interferencia en la absorción del hierro de los alimentos. Estos efectos se manifiestan principalmente por una disminución de los niveles de hemoglobina; son de carácter reversible. <sup>(13)</sup>

**\*Huesos:** Estos efectos se relacionan con el daño al riñón, ya que el cadmio interfiere en el metabolismo del calcio. En la enfermedad *itai-itai* se han comprobado, además de las lesiones renales, osteomalacia y grados variables de osteoporosis. Estas lesiones ocasionan dolores de intensidad variable, observándose que pequeños traumatismos son capaces de producir fracturas en varias partes del esqueleto. El mecanismo por el cual se producen éstas no está del todo esclarecido, pero se supone que se debe a trastornos del metabolismo de calcio, fósforo y vitamina D, originados en las lesiones renales y acompañados de una baja ingestión de calcio y proteínas. <sup>(13, 11)</sup>

**\*Efectos carcinogénicos:** En 1965 apareció el primer informe de cáncer asociado con la exposición al cadmio. En este informe se menciona la muerte de varias personas, tres de ellas por carcinomas en la próstata, una de carcinoma pulmonar y otra por carcinomatosis, estas personas estuvieron expuestas por lo menos durante 10 años a este elemento. Se ha atribuido al cadmio un incremento en la incidencia del cáncer de próstata y del aparato respiratorio en trabajadores expuestos prolongadamente, principalmente a óxido de cadmio. <sup>(13, 11)</sup>

**\*Efectos mutagénicos y teratogénicos:** Se han descrito alteraciones cromosómicas en estudios experimentales y en observaciones de personas expuestas prolongadamente al cadmio. No se han descrito hasta ahora alteraciones teratogénicas en los hijos de personas expuestas. <sup>(13)</sup>

## 2.2. Arsénico

El arsénico es un metaloide perteneciente al grupo VA de la tabla periódica de elementos químicos, que se encuentra en la naturaleza en forma de rocas sedimentarias y volcánicas, y en aguas geotermales. <sup>(25)</sup>

Es usado comercial e industrialmente en la elaboración de diferentes productos, tales como aditivos para preservar madera y alimentos, a mayores concentraciones también es utilizado para la elaboración de plaguicidas, municiones y productos farmacéuticos. <sup>(25)</sup>

El arsénico y sus derivados, siempre han sido punto de interés para la toxicología, debido al gran número de alteraciones en los distintos sistemas del cuerpo humano incluyendo piel, sistema cardiovascular, vías respiratorias, riñón, hígado y sistema nervioso. <sup>(26)</sup>

### 2.2.1. Propiedades fisicoquímicas y usos

El arsénico es un elemento químico cuyo número atómico es 33 y su peso atómico es 74,19; es de color gris plata, sabor casi insípido e inodoro. Insoluble en agua, cáusticos y sustancias oxidantes. Se encuentra en muchas formas alotrópicas (amarilla, negra y gris metálica) y forman óxidos de tipo anfótero. <sup>(27)</sup>

El promedio del contenido en la corteza terrestre es de 2 ppm, no obstante la distribución es muy heterogénea. El arsénico se encuentra frecuentemente en aguas naturales, éste llega a ellas por la erosión de rocas superficiales y volcánicas.

El arsénico existe en cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5, además de la forma elemental, el átomo de arsénico se presenta en estados de oxidación pentavalente y mucho más frecuentes como compuestos trivalentes, solubles y muy tóxicos. <sup>(25)</sup>

El arsénico forma compuestos inorgánicos y orgánicos. Se presenta en varios estados de oxidación, como semimetálico, arsénico ( $\text{As}^0$ ), en forma de iones como arseniato ( $\text{As}^{+5}$ ), arsenito ( $\text{As}^{+3}$ ) y arsina ( $\text{As}^{-3}$ ). Por eso funciona como metal por ejemplo en el sulfuro de arsénico y como metaloide o semimetal en los arseniuros como el de hierro ( $\text{As}_2\text{Fe}$ ). <sup>(28)</sup>

El arsénico tiene muchas aplicaciones en la industria metalúrgica, especialmente en la obtención de aleaciones. Pero se usa, sobre todo, en la industria química para la elaboración de medicamentos y plaguicidas, incluyendo conservantes de la madera. La utilización de plaguicidas arsenicales ha sido considerada como la fuente principal de contaminación ambiental en las últimas décadas. El arsénico es un tóxico persistente cuya presencia en las zonas contaminadas se mantiene después de muchos años. Debido a la posibilidad de incorporación del arsénico a la cadena alimentaria, el uso de muchas de estas sustancias está actualmente restringido o completamente prohibido. <sup>(29)</sup>

### **2.2.2. Fuentes y vías de exposición**

El arsénico, en fuentes naturales se presenta en forma de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, y en aguas geotermales; además se presenta en la naturaleza con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita que se encuentran como impurezas de los depósitos mineros, o como arsenato o arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. Este elemento mencionado en las fuentes naturales se encuentra como pentavalente, mientras que los derivados que provienen de la actividad del hombre, su forma más usual es la trivalente. Estos derivados pasan al medio ambiente a consecuencia de su uso como insecticidas, herbicidas, esterilizantes del suelo, decolorantes de vidrio, defoliantes, antiparasitarios y como descarga industrial de fundiciones minerales. También es empleado bajo la forma de compuestos orgánicos en veterinaria y medicina. <sup>(25)</sup>

El arsénico se encuentra como materia de desecho en muchos minerales; también puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y por diversas actividades humanas. Además de su presencia natural en pequeñas cantidades en prácticamente todos los ecosistemas, las principales actividades humanas que liberan este elemento al ambiente son el uso de combustibles fósiles en plantas termoeléctricas, los procesos de fundición y refinación de metales no ferrosos (plomo, zinc y cobre), el uso para la protección de maderas, en especial el método conocido como cobre-cromo-arsénico, la manufactura de semiconductores a base de arseniuro de galio e indio para la



industria electrónica y el almacenamiento inadecuado de desechos industriales que contienen arsénico. <sup>(30)</sup>

Por lo común, las aguas superficiales tienen bajo contenido de arsénico, en cambio en el caso de vertientes calientes, dichas concentraciones pueden ser muy elevadas. Esto se ha observado, por ejemplo, en Japón, Nueva Zelanda y Estados Unidos de América. Se han encontrado también concentraciones de arsénico muy elevadas en aguas subterráneas destinadas para el consumo humano en Argentina, Chile, Taiwán, Estados Unidos de América, Inglaterra y México, entre otros. <sup>(26)</sup>

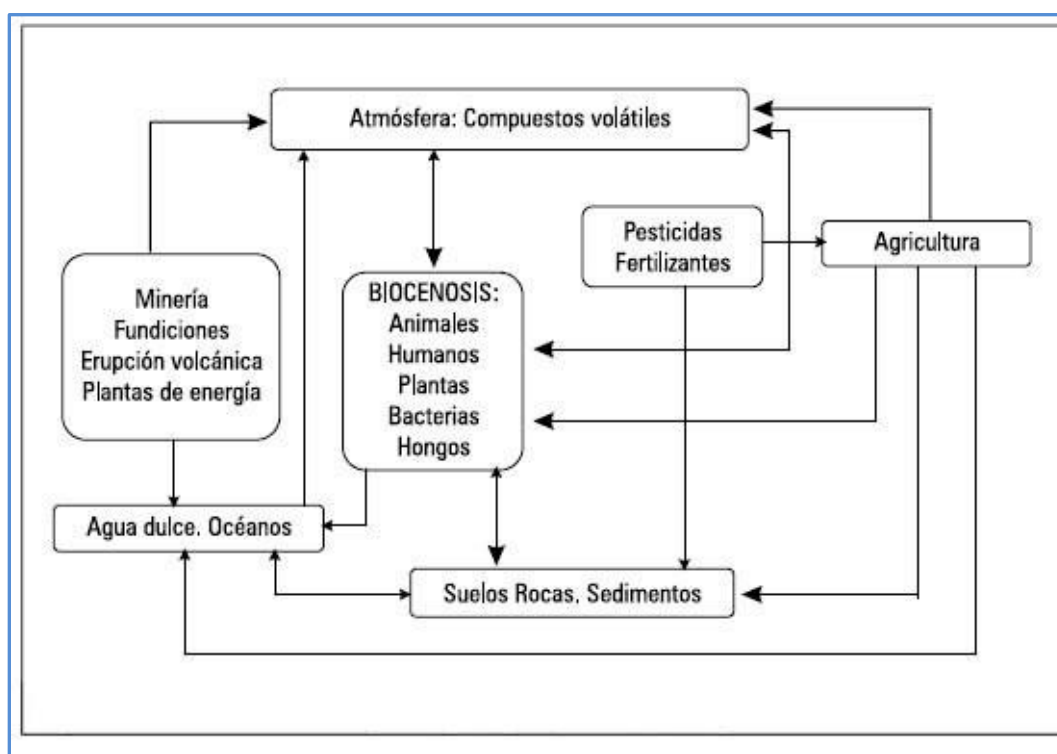
La mayor parte del arsénico que existe en el agua y el medio ambiente proviene de la actividad humana, con actividades tales como: minería, en donde los trabajadores estarán predispuestos a desarrollar hidroarcanismo crónico debido a una doble exposición, ocupacional y ambiental; así como en diversas industrias de mayor riesgo por su gran presencia de arsénico son la cerámica, colorantes, curtiembre, joyería, medicamentos, pinturas, plaguicidas, preservadores de madera, vidrio e insumos químicos. <sup>(31)</sup>

La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. El arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local. En el agua, la forma inorgánica pentavalente es predominante [ácido ortoarsénico ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ), arseniato diácido ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ), arseniato monoácido ( $\text{HAsO}_4^{2-}$ ), arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ )]. Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica, favorecen el cambio a especies pentavalentes, y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. Además, los microorganismos, plantas y animales pueden convertir los compuestos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos. En general, las especies orgánicas arsénico-metilados estarán presentes en cantidades más bajas que las inorgánicas arsenito ( $\text{As}^{+3}$ ) y arseniato ( $\text{As}^{+5}$ ). <sup>(31)</sup>

El principal aporte de arsénico a la dieta son los alimentos de origen marino, pues los crustáceos y peces marinos comestibles tienen las concentraciones más altas de arsénico (0,1 a 90  $\mu\text{g/g}$ ). Sin embargo, el arsénico presente en este tipo de alimentos es arsénico orgánico, que es considerado como menos tóxico. La

ingestión de arsénico en agua de bebida (principalmente arsénico inorgánico) es una fuente de exposición muy importante para algunas poblaciones, por lo que puede ser un problema grave de salud pública.<sup>(30)</sup>

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas también se puede explicar como resultado de la utilización, a veces excesiva y sin control, de productos relacionados con actividades agrícolas, la jardinería y limpieza de malezas, como son los fungicidas, insecticidas y plaguicidas en general. Muchos de ellos tienen arsénico como compuesto tóxico, porque su utilización está indicada para erradicar plagas diversas. Esto explica la presencia de arsénico en el tabaco en los cultivos del mismo. Se han encontrado 1 a 12,6 µg/cigarrillo según el país. Del 10 al 20% de este arsénico se volatiliza cuando se queman los cigarrillos.<sup>(30)</sup>



**Figura 2.** Ciclo del Arsénico en el ambiente.<sup>(30)</sup>

### 2.2.3. Contaminación del agua potable con arsénico

El arsénico es común en el agua subterránea en todo el mundo pero particularmente peligroso en algunas regiones. En algunas regiones de las Américas, India, Bangladesh, China y Tailandia, las concentraciones de arsénico

natural en las aguas subterráneas han sido lo suficientemente elevadas para intoxicar a quienes las beban. El arsénico en el agua típicamente causa intoxicación gradual (en un lapso de 5 a 20 años) que resulta en cánceres de la piel, vejiga y riñones entre otras enfermedades. Los niveles de arsénico se pueden manejar por medio del tratamiento del agua en el sistema de abastecimiento o a nivel doméstico. Pero los obstáculos socio-económicos, y una falta de monitoreo o incluso del conocimiento de que existe la presencia de arsénico, a menudo impide dichos intentos. <sup>(30)</sup>

La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural (mineral del cual se extrae un metal, en este caso el arsénico). Excepto en las personas expuestas al arsénico por motivos laborales, la vía de exposición más importante es la vía oral, por el consumo de alimentos y bebidas. En ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico. En algunas zonas, el arsénico del agua de consumo afecta significativamente a la salud, y el arsénico se considera una sustancia a la que debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo humano. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo. <sup>(15)</sup>

Las concentraciones de Arsénico en el agua potable son usualmente menores a 10 µg/L mientras que, en sitios cercanos a minas o contaminados con minerales arsenicales, fluctúan entre 200 y 1000 µg/L. <sup>(30)</sup> Es factible técnicamente reducir la concentración de arsénico en el agua de consumo hasta 5 µg/L o menos mediante cualquiera de varios métodos de tratamiento posibles; no obstante, es preciso para ello una cuidadosa optimización y control de los procesos, y es más la expectativa de alcanzar 10 µg/L mediante tratamientos convencionales, como la coagulación. <sup>(15)</sup>

#### **2.2.4. Valor máximo permisible de cadmio en agua potable**

Las Normas internacionales para el agua potable según la OMS en 1958 recomendaron una concentración máxima admisible de arsénico de 0,2 mg/L, basándose en sus posibles efectos perjudiciales para la salud. En las Normas

internacionales de 1963 se redujo este valor a 0,05 mg/L, el cual se mantuvo como límite superior provisional de concentración en las Normas internacionales de 1971. El valor de referencia de 0,05 mg/L también se mantuvo en la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984. En las Guías de 1993 se fijó un valor de referencia provisional para el arsénico en el límite práctico de cuantificación de 0,01 mg/L, basándose en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano. La evaluación de riesgos se realizó en 2003. <sup>(15)</sup>

Las Guías para la Calidad del Agua Potable explican los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Asimismo describe los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos. Las Guías se consideran reflejo de la opinión oficial del sistema de las Naciones Unidas sobre cuestiones relativas a la calidad del agua y la salud. La finalidad principal de las Guías para la calidad del agua potable es la protección de la Salud Pública. El límite máximo permisible establecido para arsénico en agua potable es: 0,01 mg/L. <sup>(15)</sup>

En el Perú mediante Decreto Supremo N° 031-2010-SA (publicado en el Diario El Peruano el 26 de setiembre de 2010) se aprobó el “Reglamento sobre Calidad del Agua para Consumo Humano”. En dicho documento se establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población. El valor de referencia permisible para arsénico en agua potable para Perú está basado en el valor de la OMS. <sup>(1)</sup>

**Tabla 2.** Valores Estándares de Referencia para el Arsénico (Según OMS y UE).<sup>(15)</sup>

| VALORES DE REFERENCIA PARA ARSÉNICO |                      |                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|
| Parámetro                           | Estándares de la OMS | Estándares Europeos | Límite máximo permisible en Perú |
| Arsénico (As)                       | 0,01 mg/L            | 0,01 mg/L           | 0,01 mg/L                        |

### 2.2.5. Toxicocinética

Las principales vías de entrada del Arsénico al organismo son el tracto gastrointestinal (TGI) y el tracto respiratorio. La absorción por vía dérmica es baja. La vida media del arsénico inorgánico en los humanos es de aproximadamente 10 horas. Aproximadamente el 70 % del arsénico se excreta, principalmente por la orina y la mayor parte de una dosis única, de bajo nivel, se excreta en los siguientes días posteriores a la ingesta. Con el tiempo los principales depósitos de arsénico en el organismo son los huesos y los músculos.<sup>(31)</sup>

La toxicidad crónica debido al arsénico puede provocar daños serios en los aparatos y sistemas neurológico, respiratorio, hematológico, cardiovascular, gastrointestinal y otros. Las diferencias interindividuales y poblacionales en la capacidad para metilar arsénico, así como el estatus nutricional pueden ser factores importantes en la susceptibilidad a la toxicidad por arsénico.<sup>(30)</sup>

#### 2.2.5.1. Absorción

El arsénico y sus compuestos se introducen al organismo principalmente por: inhalación de polvos en el aire contaminado, que en el pulmón se absorben en una proporción de un 50 % de lo inhalado; ingestión, en donde el sistema gastrointestinal absorbe en promedio el 80 %, esta cantidad es variable según algunas características del compuesto y del individuo y por ultimo absorción a través de la piel, aunque no se tiene datos cuantitativos de su capacidad de absorción.<sup>(31)</sup>

En los seres humanos, y en la mayoría de las especies animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del tracto gastrointestinal (TGI) es alta (95 %)

cuando se administran en solución acuosa. La absorción de Arsénico por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas inhaladas (ya que el arsénico se encuentra en el aire como partícula), de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el Arsénico (III), el cual es de origen antropogénico. Las partículas grandes se depositan en las vías superiores, son removidas por el movimiento ciliar y transportadas al TGI, en donde son absorbidas dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores de 7  $\mu\text{m}$  se absorben en un 75 a 85 %. <sup>(30)</sup>

Los datos en humanos y animales indican que más del 90% de la dosis ingerida de arsénico trivalente o pentavalente disuelto se absorbe en el tracto gastrointestinal. El ácido dimetilarsénico, el ácido monometilarsénico, los compuestos orgánicos de arsénico en pescados y mariscos son absorbidos entre un 75 a 85 %. La absorción de formas menos solubles, como por ejemplo el trióxido de arsénico, es mucho menor. <sup>(32)</sup>

#### **2.2.5.2. Distribución**

Una vez absorbidos, el arsénico o sus derivados se distribuyen a través de la sangre entre los diversos compartimentos corporales. Algunas horas después se pueden verificar altas concentraciones en el hígado y los riñones, pero también se encuentran en músculos, huesos, corazón, pulmones, páncreas, bazo, cerebro, piel, cabello y uñas. <sup>(33)</sup>

Los compuestos arsenicales tienden a acumularse principalmente en hígado, riñón, pulmón y bazo. El Arsénico (III) se une preferentemente a los grupos sulfhidrilos de proteínas como la queratina, por lo que se deposita en pelo y uñas. <sup>(30)</sup>

Los datos sobre los efectos de la valencia y nivel de exposición de arsénico en la distribución en los tejidos indican que los niveles de arsénico en los riñones, hígado, bilis, cerebro, huesos, piel y la sangre son de 2 a 25 veces más para las formas trivalentes que para las formas pentavalentes y aumentan en gran medida a dosis más altas. <sup>(34)</sup>

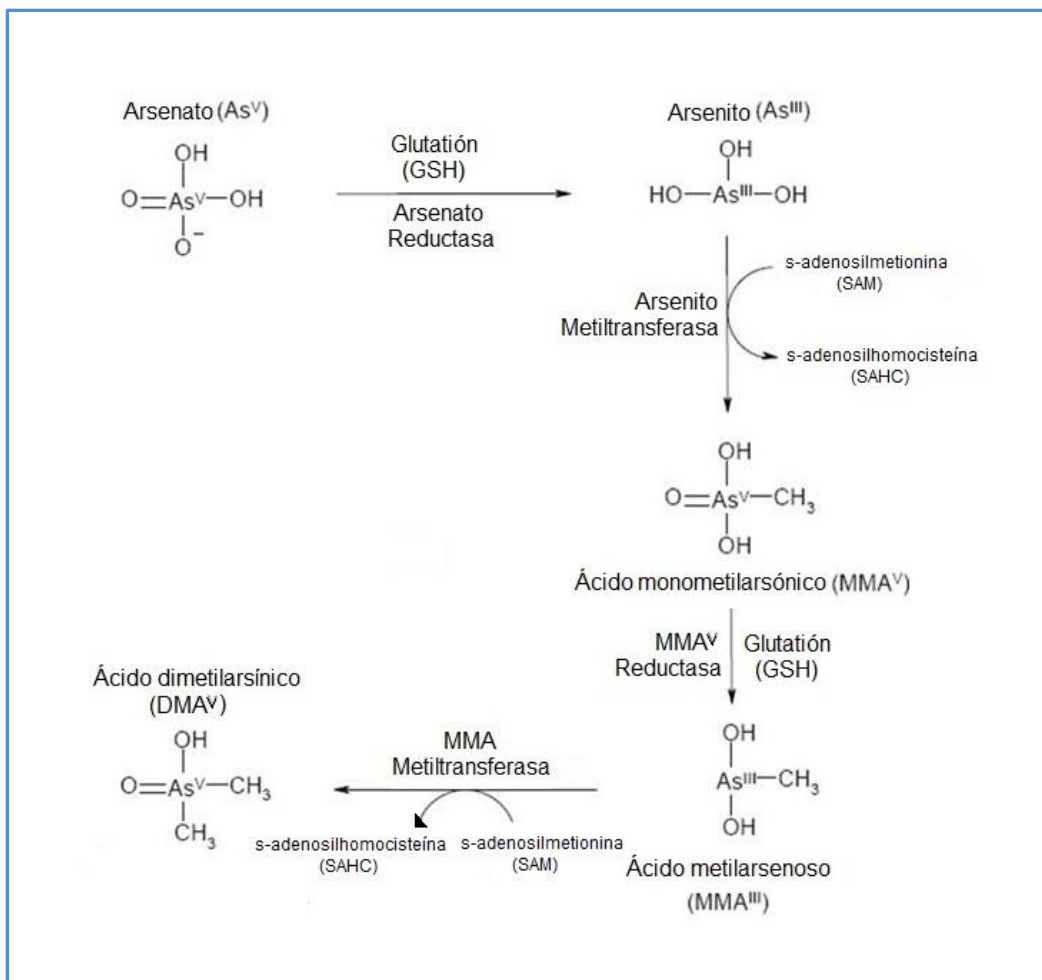
El modo de distribuirse es importante en relación a los efectos y depende del compuesto, de la especie y del tiempo después de la administración o la

incorporación en que se efectúa la medida de la distribución. Esto último se debe a que, a tiempos cortos, los valores reflejan las distintas velocidades de irrigación de los distintos órganos, en tanto que a tiempos más largos, reflejan las distintas permeabilidades tisulares y la capacidad del órgano de interactuar con el arsénico.  
(26)

### **2.2.5.3. Metabolismo**

La fracción de compuestos de arsénico que permanece en el organismo, participa en reacciones orgánicas e interactúa con los componentes celulares.<sup>(26)</sup> Dos procesos están involucrados en el metabolismo, las cuales son: reacciones de reducción que convierten el Arsenato [Arsénico (V)] en Arsenito [Arsénico (III)] y reacciones de metilación oxidativa que transforman el Arsénico (III) en especies metiladas. La metilación del arsénico que se ha propuesto requiere, primero, una reducción del Arsénico (V) a Arsénico (III); enseguida, la adición del primer grupo metilo para obtener ácido monometilarsónico (MMA); se postula que ésta es seguida por una segunda reducción de MMA (V) a MMA (III) previa a la segunda metilación, lo que produce el ácido dimetilarsínico (DMA). Se ha propuesto a la S-adenosilmetionina como donador de los grupos metilo (cosustrato) y al glutatión reducido (GSH) como principal agente reductor y transportador de arsénico.<sup>(35)</sup>

Estos procesos son considerados como la habilidad que tiene el cuerpo humano de cambiar el arsénico inorgánico a formas orgánicas menos tóxicas (MMA y DMA) y ésta es excretada más rápidamente en la orina que las formas inorgánicas. El proceso de metilación es considerado como un mecanismo de desintoxicación, ya que las especies metiladas del arsénico son menos tóxicas que el arsénico inorgánico y se logra una menor acumulación de arsénico inorgánico en los tejidos. Este proceso de metilación al ser enzimático podría saturarse con elevadas dosis de arsénico lo que resulta una mayor acumulación de arsénico inorgánico en los tejidos, dando como resultado una mayor incidencia de la toxicidad del arsénico. El metabolismo de arsénico en niños es menos eficiente que en los adultos.<sup>(36)</sup>



**Figura 3.** Biotransformación del Arsénico Inorgánico.<sup>(30)</sup>

Sin duda, las interacciones más importantes de los compuestos de arsénico con los componentes celulares son las que tienen lugar con los grupos sulfhidrilo de las proteínas y los cofactores, siendo la más susceptibles las enzimas o cofactores que tienen dos grupos sulfhidrilos vecinos.<sup>(26)</sup>

Varios factores pueden influir en la capacidad de metilación del arsénico, entre ellos, dosis y tiempo de exposición, una dieta alta en metionina y proteínas y el posible polimorfismo genético de la(s) enzima(s) metilante(s).<sup>(30)</sup> El proceso de metilación es considerado como un mecanismo de desintoxicación, ya que las especies metiladas del arsénico son menos tóxicas que el arsénico inorgánico en los tejidos. Este proceso de metilación al ser enzimático podría saturarse con elevadas dosis de arsénico lo que resulta una mayor acumulación de arsénico



inorgánico en los tejidos. Sin embargo todavía no hay estudios que avalen lo descrito.<sup>(32)</sup>

#### **2.2.5.4. Excreción**

El arsénico se elimina principalmente por el riñón en forma de DMA (50-70%). Una parte (20 %) se excreta sin metilar, en la orina. También se excreta en la leche materna, uñas, cabellos y bilis.<sup>(30)</sup> La vida media del arsénico en el hombre ha sido calculada en 10 horas para las formas inorgánicas, 30 horas para las formas orgánicas y 20 horas para las formas provenientes de los alimentos del mar.<sup>(31)</sup>

La proporción relativa de  $\text{As}^{+3}$ ,  $\text{As}^{+5}$ , MMA y DMA en la orina puede variar dependiendo de la forma administrada, tiempo después de la exposición y cantidad de dosis. En general el DMA es el principal metabolito, con niveles más bajos de arsénico inorgánico ( $\text{As}^{+3}$  y  $\text{As}^{+5}$ ) y MMA. En los humanos la proporción relativa usualmente es 40 % a 60 % de DMA, 20 % a 50 % de arsénico inorgánico y 15 % a 25 % de MMA.<sup>(37)</sup>

Los compuestos arsenicales pentavalentes se excretan rápidamente por el riñón, lo cual se debe a que interactúan poco con los tejidos. En cambio, los trivalentes se excretan más lentamente, lo cual es posible en la medida en que el compuesto se libera de la forma combinada en que se encuentra en los tejidos.<sup>(26)</sup>

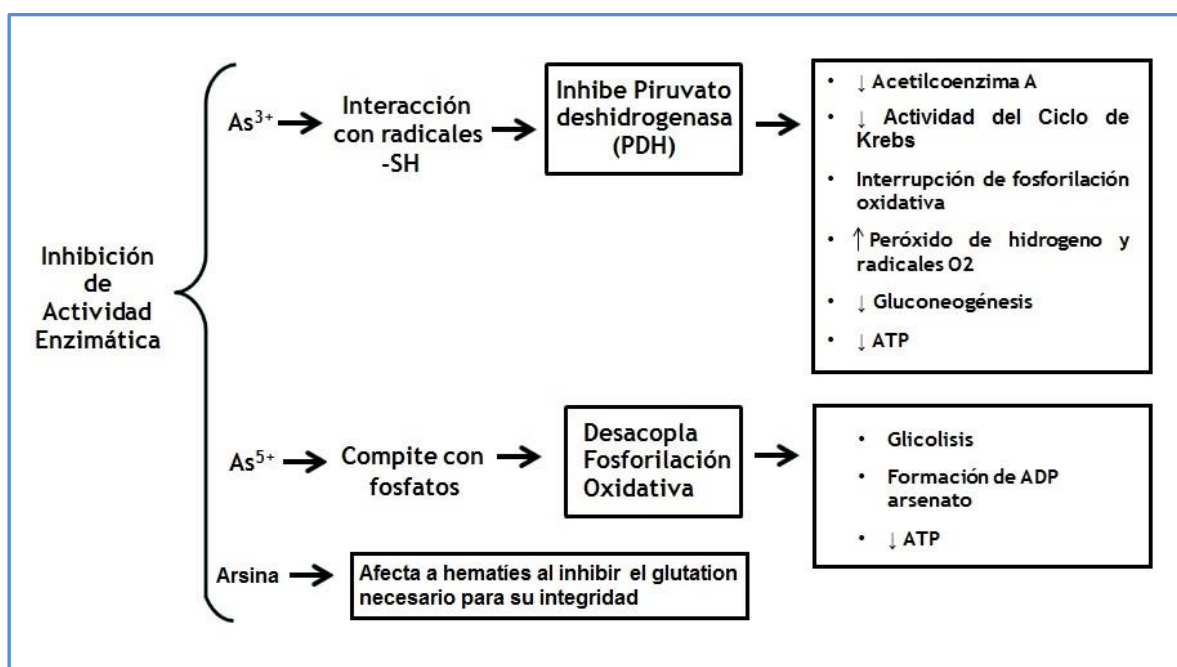
#### **2.2.6. Toxicodinamia**

Es importante el tipo de compuesto arsenical que se relaciona con la naturaleza de sus cargas; así, los derivados monosustituídos (arsenito monometálico), son eficaces inhibidores mercapto-formadores, mientras que los bisustituídos (arsenito bimetálico) afectan a la deshidrogenasa isocítrica responsable de catalizar la conversión de isocitrato en alfa-cetoglutarato, con regeneración de ATP en el Ciclo de Krebs.<sup>(38)</sup>

Se sabe también que los compuestos arsenicales trivalentes actúan mejor sobre las coenzimas ditiólicas, en especial sobre el factor lipoato, inhibiendo el sistema piruvato-oxidasa. Los sistemas oxidasa inhibidos detienen las transformaciones metabólicas en la etapa de la oxidación del piruvato y del alfa-cetoglutarato, con lo

que queda bloqueado el Ciclo de Krebs, con déficit de metabolitos esenciales y acumulo de otros. <sup>(38)</sup>

La toxicidad del arsénico es compleja pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto. El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en humanos. El gas arsina es considerado como la forma más toxica del arsénico, lo que se debe a su actividad como potente agente hemolítico, sin embargo, este gas difícilmente alcanza niveles tóxicos en el ambiente. En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de arsénico (III) son más tóxicas que las de arsénico (V) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad. <sup>(30)</sup>



**Figura 4.** Mecanismo de acción del arsénico. <sup>(30)</sup>

La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina > As<sup>+3</sup> inorgánico > As<sup>+3</sup> orgánico > As<sup>+5</sup> inorgánico > As<sup>+5</sup> orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del As<sup>+3</sup> es 10 veces mayor que la del As<sup>+5</sup> y la dosis letal para adultos es de 1 - 4 mg As/Kg. Para las formas más

comunes como  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_5$  esta dosis varía en un rango entre 1,5 mg/Kg y 500 mg/kg de masa corporal. <sup>(39)</sup>

El mecanismo más importante que se ha postulado para explicar la toxicidad de los arsenicales trivalentes es a través de su “afinidad por los grupos sulfhidrilos” de las proteínas. Las enzimas son particularmente afectadas si el grupo sulfhidrilo (-SH) está ubicado en un sitio crítico para su actividad. El arsénico (V) puede substituir al grupo fosfato en las reacciones que son catalizadas enzimáticamente, afectando procesos como la producción de ATP y la síntesis del ADN; sin embargo, su contribución tóxica es difícil de evaluar pues el arsénico (V) se reduce a arsénico (III) en el organismo. <sup>(30)</sup>

#### **2.2.7. Efectos agudos y crónicos en las intoxicaciones con arsénico**

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con arsénico pueden ser agudas o crónicas, con carácter local o sistémico. Las intoxicaciones que se pueden presentar en la población general, salvo situaciones de accidentes o contaminaciones masivas, por ejemplo de alimentos, en general suele ser de carácter crónico. En la población ocupacional es frecuente encontrar tanto intoxicaciones agudas como crónicas muy características. Los signos y síntomas clínicos producidos en el hombre por los diversos compuestos del arsénico son semejantes y solo varían con la dosis y el tiempo de exposición. Una excepción a esto es la arsina que provoca un cuadro clínico diferente y característico. <sup>(31)</sup>

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. A ciertas concentraciones ocasiona alteraciones de la piel con efectos secundarios en los sistemas nervioso, respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones. Estudios toxicológicos y epidemiológicos confirman la información anterior e indican que la ingestión crónica de arsénico en el agua de bebida genera lesiones en la piel, la hiperpigmentación e hiperqueratosis palmoplantar; desórdenes del sistema nervioso; diabetes mellitus; anemia; alteraciones del hígado; enfermedades vasculares, cáncer de piel, pulmón y vejiga. <sup>(39)</sup>

El consumo de agua con arsénico no conlleva a casos con efectos agudos, sino más bien conlleva a efectos crónicos y a la generación de arsenicismo, porque se ingieren pequeñas cantidades en el agua a largo plazo. El tratamiento involucra proporcionar al paciente agua de bebida libre de arsénico. El siguiente paso es monitorearlo y asegurarse de que no esté expuesto a este elemento. Otros tratamientos propuestos son la quelación y la mejora de la nutrición.<sup>(39)</sup>

La intoxicación por arsénico (arsenicismo) se manifiesta de forma característica a lo largo de un periodo de 5 a 20 años. Como algunos efectos de la exposición al arsénico son irreversibles, la principal medida de salud pública consiste en prevenir la exposición humana.<sup>(40)</sup>

#### **2.2.7.1. Manifestaciones agudas**

La intoxicación aguda es generalmente accidental, si bien todavía se describen casos de suicidio y homicidio por uso del arsénico. Presenta dos tipos de manifestaciones principales: gastrointestinales (vómitos, diarrea y dolores abdominales) y nerviosas (cefalea, crisis convulsivas y pérdida de conocimiento). Estos signos y síntomas pueden presentar distintas intensidades; en casos extremos pueden ocurrir hemorragias graves.<sup>(31)</sup>

Es posible observar vasodilatación e hiperemia, edema debido a daño capilar, con caída de la presión arterial, lo que a menudo conduce a un estado de choque. También ocurre pérdida de los movimientos voluntarios, confusión, psicosis, delirio, coma y muerte. La dosis fatal de arsénico en adultos es de 70 a 180 mg. Otras manifestaciones incluyen cambios en la piel, como hiperpigmentaciones, hepatomegalia, melanosis y la aparición de líneas transversales blanquecinas en las uñas (líneas de *Mees-Aldrich*). Algunos arsenicales, como el trióxido de arsénico, son muy irritantes.<sup>(30)</sup>

La pérdida de sensibilidad en el sistema nervioso periférico es el efecto neurológico más frecuente; aparece una a dos semanas después de exposiciones grandes, y consta de degeneración walleriana de axones, un estado reversible si se suspende la exposición. Los síntomas de la intoxicación aguda pueden aparecer en minutos o bien muchas horas después de la ingestión de entre 100 a

300 mg de arsénico, aunque también es posible la inhalación de polvo de arsénico o la absorción cutánea.<sup>(41)</sup>

La arsina produce un cuadro diferente conformado casi exclusivamente por síntomas agudos. En esta intoxicación se presenta una hemólisis intravascular de gran intensidad, de modo que el trabajador presenta al cabo de 1 a 2 horas, orina oscura (color vino), debido a la hemoglobinuria y posteriormente (2 a 3 días) el apareamiento de ictericia, con compromiso del estado general. La anemia no es visible por causa de la intensa ictericia y la cristalización de la hemoglobina en los túbulos renales produce un daño que lleva a la oliguria o anuria, que frecuentemente causan la muerte.<sup>(31)</sup>

#### **2.2.7.2. Manifestaciones crónicas**

Las manifestaciones crónicas son, desde el punto de vista epidemiológico, las más importantes porque son las que más frecuentemente se observan en poblaciones ocupacionales y no ocupacionales expuestas al arsénico. Estas manifestaciones de dan en varios órganos.<sup>(31)</sup>

Los efectos de la exposición crónica a arsénico dependen de la vía de exposición y se presentan en varios sistemas incluyendo piel, sistema cardiovascular, vías respiratorias, riñón, hígado y sistema nervioso. El arsénico es un agente teratogénico, mutagénico y carcinogénico. Los efectos crónicos más importantes se resumen a continuación:<sup>(30)</sup>

**\*Piel:** La piel es un órgano crítico muy comúnmente afectado en las intoxicaciones arsenicales crónicas. Estas lesiones se ubican en la mayoría de las veces en las palmas de las manos y en las plantas de los pies y están constituidas por ulceraciones simétricas, hiperqueratosis, hiperpigmentación con máculas blancas y prurito. Este cuadro ha sido descrito en Argentina, Chile, China, Japón y México, donde hay regiones con arsenicismo crónico causado por la ingestión de agua contaminada naturalmente. En casos graves se han descubierto lesiones en el abdomen, tórax y espalda. Estas lesiones, asociadas a la concentración del arsénico en la piel, pueden terminar por transformarse en carcinomas (cáncer de *Hutchinson*). El arsenicismo produce una línea blanca en las uñas, que es una señal característica de la intoxicación.<sup>(31)</sup>

**\*Metabolismo del grupo hemo:** Pacientes que presentaron lesiones en la piel han tenido anemia moderada y leucopenia. Estas alteraciones de la sangre y otras observadas en la exposición ocupacional prolongada, están relacionadas con problemas a nivel de los órganos hematopoyéticos y son distintas de aquellas causadas por la arsina donde se produce una gran hemólisis. <sup>(31)</sup> La ruta metabólica del grupo hemo puede sufrir alteraciones por la exposición al arsénico, algunos metales y diversos compuestos químicos. La administración de arsénico (III) causa un incremento en las actividades de la sintetasa del ácido 5-aminolevulínico y la hemooxigenasa, así como una depresión en las actividades de las descarboxilasas del uroporfirinógeno y el coproporfirinógeno. De igual manera, se ha observado una alteración en la excreción urinaria de intermediarios de la síntesis del grupo hemo en poblaciones humanas crónicamente expuestas a arsénico en el agua de bebida. <sup>(30)</sup>

**\*Sistema cardiovascular:** Se han podido observar desviaciones del electrocardiograma normal, atribuidas a efectos tóxicos del arsénico sobre el miocardio. La exposición crónica por inhalación de compuestos de arsénico inorgánico afecta el sistema cardiovascular, pues altera la despolarización del miocardio y causa arritmias cardíacas. Se presentan dilatación e incremento de la permeabilidad capilar, lo que ocasiona hipovolemia, hipoproteinemia y choque. Se han descrito efectos vasculares periféricos caracterizados por cianosis y pérdida progresiva de la circulación en las extremidades, que puede finalizar en gangrena seca, mejor conocida como enfermedad del “pie negro”. <sup>(30)</sup>

**\*Sistema nervioso:** Se han observado signos de neuropatía central y periférica en trabajadores expuestos a arsénico por las vías oral e inhalatoria, lo que afecta tanto a las fibras motoras como a las sensoriales y produce degradación y desmielinización axonal. <sup>(30)</sup>

Otro síntoma característico del arsenicismo crónico es el desarrollo de una neuritis periférica que afecta preferentemente las extremidades inferiores y se caracteriza por la simetría de los síntomas motores y por parestesias. <sup>(31)</sup>

**\*Efectos teratogénicos y mutagénicos:** Algunas alteraciones teratogénicas, como anencefalia, agenesia renal, malformaciones, abortos espontáneos, muerte perinatal y fetal, han sido demostradas en estudios experimentales y es probable

que esto suceda, ya que el arsénico traspasa la barrera placentaria. Además se han observado mutaciones cromosómicas en pacientes sometidos a tratamientos mediante medicamentos arsenicales, comprobados experimentalmente. <sup>(31)</sup>

En estudios efectuados en seres humanos y en estudios experimentales, se ha demostrado que el arsénico es mutagénico. Esto es particularmente importante puesto que se considera que las mutaciones son responsables de trastornos metabólicos, envejecimiento prematuro, muerte fetal o perinatal, esterilidad, etc.

<sup>(26)</sup>

Aún no se conoce el mecanismo por el cual el arsénico induce daño al material genético. El arsénico no parece alterar directamente al ADN, sino que, posiblemente, inhibe una o más de las enzimas que intervienen en su replicación y reparación. También se ha propuesto: 1) que el arsénico actúa como co-carcinógeno con otros agentes, o bien interviniendo con la respuesta inmunológica de los individuos, y 2) por los radicales libres que este elemento produce. Asimismo, la capacidad del arsénico (V) para simular al fosfato en los enlaces diéster del ADN también puede dañar al material genético. <sup>(30)</sup>

**\*Carcinogénesis:** El arsénico inorgánico es un agente carcinogénico, está clasificado por el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) en el grupo A (con suficientes evidencias en humanos). Los trabajadores expuestos a arsénico por vía aérea presentan un incremento en cáncer de pulmón, poco diferenciado del carcinoma broncogénico epidermoide, mientras que la exposición oral a arsénico incrementa el riesgo de presentar cáncer de piel, aunque también se presentan tumores en vejiga, riñón, hígado y pulmón. <sup>(31)</sup>

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA) y el *Integrated Risk Information System* (IRIS), de Estados Unidos de América, lo reportan como cancerígeno del grupo A, por las mismas razones anteriores y por el aumento de cáncer de piel observado en poblaciones que consumen agua potable con cantidades elevadas de arsénico inorgánico. <sup>(42)</sup>

El HACRE acrónimo de «hidroarsenicismo crónico regional endémico» o «enfermedad de los pies negros», la «*blackfoot disease*», es el arsenicismo causado por beber habitualmente agua con más de 5 µg As/L de agua. Al requerir exposiciones largas, no suele presentarse antes de la pubertad, haciéndolo con

diversas manifestaciones del arsenicismo crónico. Esta enfermedad afecta a muchas regiones en el mundo.<sup>(28)</sup>

### **2.3. Antecedentes de investigación sobre contaminación por Cadmio y Arsénico**

\* El año 1992, el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cuba, publicó una investigación cuyo principal objetivo fue conocer las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en las aguas de las principales fuentes de abastecimiento de los acueductos de comunidades mayores de 5000 habitantes y comprobar el cumplimiento de las concentraciones máximas admisibles (CMA) establecidas, lo que permitió evaluar la objetividad de estos límites en las condiciones específicas del país. Los resultados concluyeron que las aguas de las fuentes de abastecimiento estudiadas cumplieron con el requerimiento sanitario establecido en el país.<sup>(43)</sup>

\*El año 1994, Pérez J., elaboró la tesis para optar al título de Químico Farmacéutico, que determinó las concentraciones de cadmio y plomo en aguas de consumo humano directo en 10 distritos de Lima Metropolitana. En los resultados se observó que las concentraciones de cadmio y plomo estaban por debajo de los límites máximos permisibles recomendados por la OMS para el agua de consumo humano (Cadmio 0,005 mg/mL y Plomo 0,05 mg/L), pero dichos valores podrían ocasionar intoxicación crónica por exposición prolongada a estos metales.<sup>(44)</sup>

\*El año 1994, Infante L. y Palomino S. elaboraron la tesis para optar al título de Químico Farmacéutico, que cuantificó espectrofotométricamente el contenido de arsénico de las aguas de consumo de la vertiente del río Rímac, se analizaron 53 muestras de agua potable, de río, pozo y manantiales; se encontró que 84,9% sobrepasaban el límite recomendado por la OMS. Sin embargo, no se registraron casos de envenenamiento con arsénico. A su vez recomendaron realizar estudios periódicos para evaluar los niveles de contaminación anual y desarrollar campañas de educación sanitaria dirigidas a la comunidad sobre los riesgos que derivan de la ingestión de aguas contaminadas con arsénico.<sup>(25)</sup>



\*El año 1998, la Revista Española de Salud Pública publicó una investigación que tuvo como objetivo conocer el grado de contaminación por plomo, cadmio, zinc y arsénico de las aguas de la provincia de Salamanca y su relación con la zona de procedencia de las muestras y el punto de recogida de las mismas. Se estudiaron aguas procedentes de redes de abastecimiento, fuentes, manantiales, pozos, ríos, riveras y lagunas de la provincia de Salamanca, analizándose los contenidos de plomo, cadmio, zinc y arsénico de 180 muestras, mediante espectroscopia de absorción atómica. Los resultados concluyeron que las aguas de la provincia de Salamanca presentan de forma "natural" altos contenidos de cadmio y plomo, probablemente debido a las características geológicas del terreno. <sup>(45)</sup>

\* El año 1999, Flores Y., elaboró la tesis para optar al título de Químico Farmacéutico, donde se realizó un análisis químico toxicológico y espectrofotométrico de arsénico en aguas de consumo directo de 17 manantiales, 2 reservorios y 12 puntos en la ciudad de Huaytará, departamento de Huancavelica. En los resultados obtenidos, los valores promedio de mercurio y plomo son negativos; los valores de arsénico, cobre y zinc son no significativos; los valores de cromo y calcio superan ligeramente los límites dados por las normas internacionales de calidad de agua de la OMS, lo que indican que estas aguas son aptas para el consumo humano. <sup>(46)</sup>

\*El año 2000, la OMS publicó en su boletín el trabajo de investigación: "Contaminación del agua de bebida con arsénico en Bangladesh: una emergencia de salud pública", donde se describe el descubrimiento en Bangladesh de la contaminación del agua de bebida con arsénico y se recomiendan estrategias para la intervención del estado a fin de preservar la salud de la población. <sup>(47)</sup>

\*El año 2009, García M., elaboró la tesis para optar al grado académico de Doctor en Farmacia y Bioquímica, donde se determinó los posibles efectos tóxicos crónicos tras administrar cadmio en ratas albinas, utilizando el método directo de administración en el agua de bebida. Los niveles de cadmio administrados se encontraban en un rango donde se puede manifestar toxicidad crónica. Entre los efectos tóxicos encontrados se mencionan: efectos teratogénicos como hemangioma y acondroplasia; cambios bioquímicos funcionales significativos, como el aumento de la fosfatasa alcalina sérica y glutamato oxalacetato

transaminasa sérica, cambios estructurales histopatológicos en el hígado y riñones. Se observó que el cadmio produce cambios conductuales como sensibilidad al sonido, comportamiento agresivo; disminución en el peso de las crías al nacer y mayor mortalidad.<sup>(10)</sup>

\*En el año 2009, Flores E. y Pérez J., elaboraron la tesis para optar al título de Químico Farmacéutico, donde se determinó la concentración de arsénico, por absorción atómica, en aguas de consumo humano provenientes de SEDAPAL, de cisterna y de pozos del distrito de Puente Piedra. En los resultados obtenidos, la concentración promedio de arsénico en aguas de consumo humano proveniente de pozo fue de 22,40 µg As/L, que sobrepasa el límite permisible establecido por la OMS (10 µg As/L); a su vez, recomiendan realizar el mismo estudio en otros distritos de Lima Metropolitana para realizar un seguimiento de la calidad del agua de consumo humano que abastece a los habitantes.<sup>(36)</sup>

## **2.4. Comunidad Urbana de Chuquitanta – San Martín de Porres**

### **2.4.1. Organización política administrativa**

La Comunidad Urbana de Chuquitanta está ubicada en la zona norte del distrito de San Martín de Porres, provincia de Lima, departamento de Lima, en el valle del río Chillón. Sus límites son las avenidas: Tantamayo, Central, Las Palmeras y Santa María. Su Latitud es -11,955 y su Longitud es -77,0964.<sup>(48)</sup>

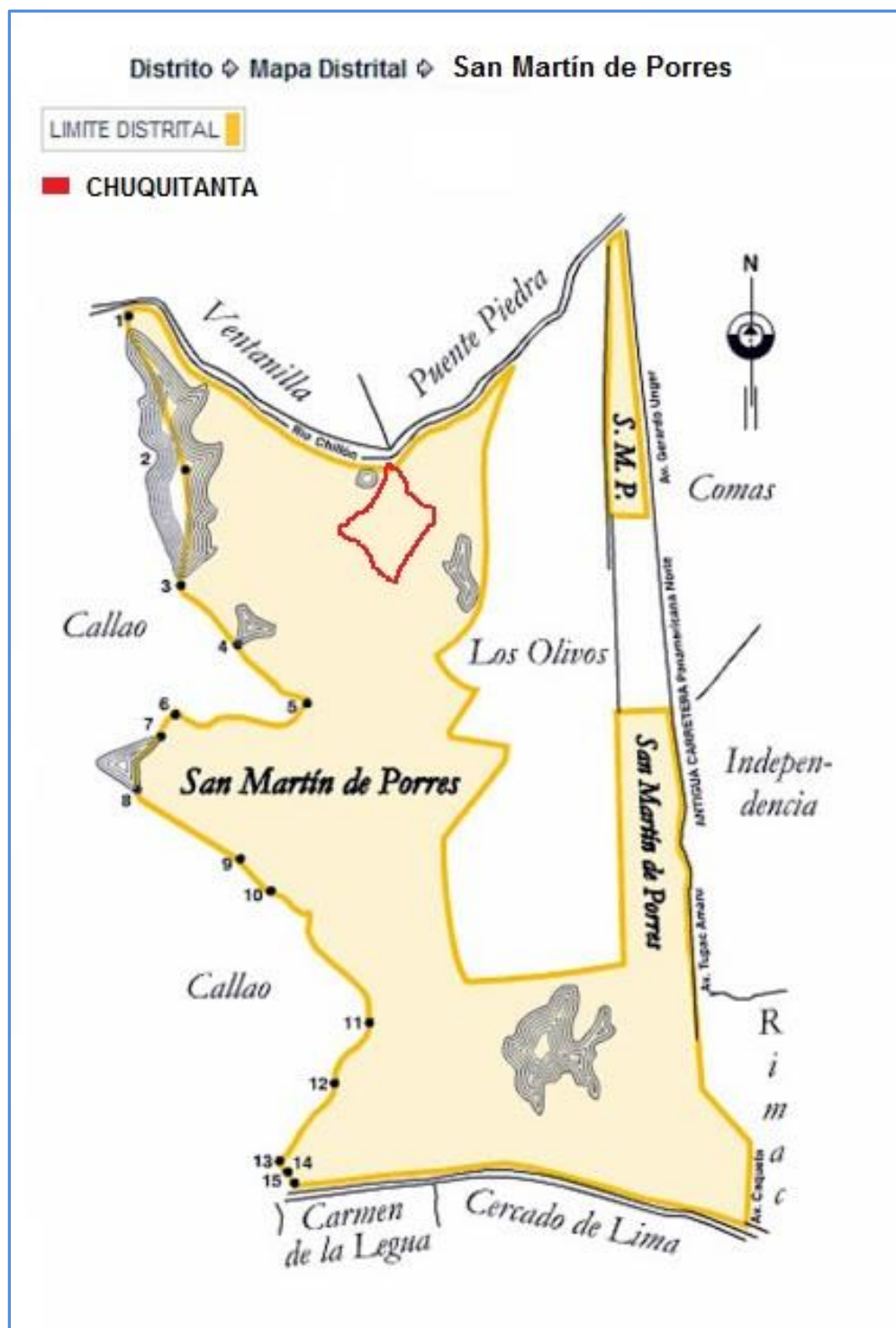
El proceso de urbanización formal e informal debido a los efectos de la globalización es la principal característica del área visitada. Se ha observado asentamientos humanos formales en las márgenes del río Chillón al oeste de la Av. Néstor Gambetta (Callao). Las familias autoconstruyen sus viviendas con poca asesoría técnica. Dicho proceso de ocupación es intenso porque se están invadiendo las lomas, algunas contiguas a restos arqueológicos, como por ejemplo la zona del “Paraíso”.<sup>(48)</sup>

#### **2.4.2. Caracterización geográfica**

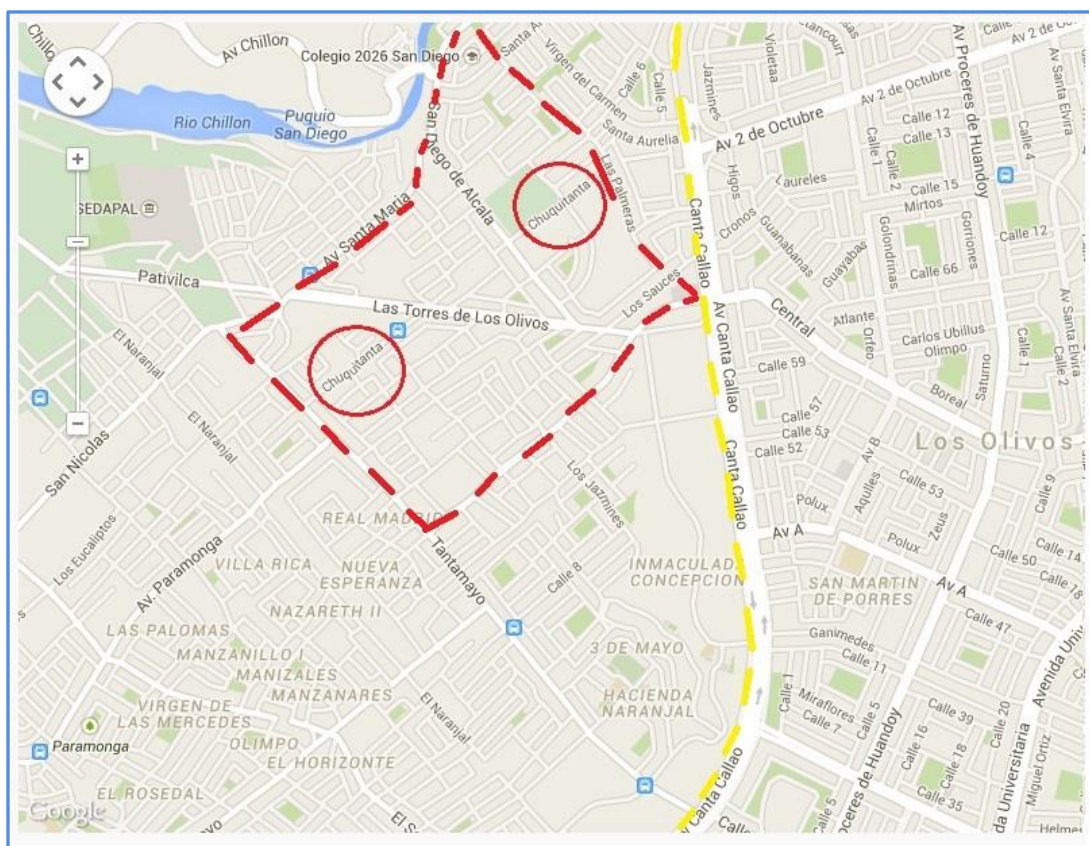
En base a información recogida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el valle del río Chillón tiene un área de 2300 Km<sup>2</sup> y una longitud de 120 Km, se origina en el glaciar denominado Corte a 5372 m.s.n.m., cuyos deshielos se concentran en la laguna Chonta. El relieve se caracteriza por presentar una zona de fondo de valle, lecho de río pedregoso de la cuenca, sin pendiente, por lo que se producen inundaciones en épocas de creciente.<sup>(48)</sup>

#### **2.4.3. Clima y topografía**

Presenta un clima semicálido y tiene una altura promedio entre 140 y 271 m. La temperatura de Chuquitanta varía entre 14 a 27 °C siendo un lugar agradable para la estadía. Los vientos dominantes provienen del sur-oeste. El área está caracterizada por tener una topografía que va de plana a moderada, controlado por el macizo rocoso que se observa hacia el norte el cerro la Cucaracha, y al sur el cerro Oquendo. Las alturas predominantes van desde los 6 a 51 m. En la zona plana, y lo cerros colindantes van desde los 25 a 113 m de altitud.<sup>(48)</sup>



**Figura 5.** Mapa Distrital de San Martín de Porres (Municipalidad de S.M.P.)



**Figura 6.** Comunidad Urbana de Chuquitanta – San Martín de Porres (Google Maps)

### **III. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Tipo y Diseño de la investigación**

El tipo de investigación es descriptiva, explicativa y transversal en donde no se manipulan las variables seleccionadas.

Descriptivo, porque se medirá las características de las variables en estudio (valores medios de las concentraciones de arsénico y cadmio). Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

Explicativo se refiere a la interpretación de cada uno de los reportes a través de los diferentes procesos que se hará tanto para las variables cualitativas como cuantitativas a través de los datos captados con el apoyo de un instrumento de medición apropiado.

Transversal dado que los datos fueron recolectados en un tiempo determinado.

El diseño de la investigación es no experimental ya que observaremos los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo.

#### **3.2. Metodología Analítica empleada**

Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Laboratorio: Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) - UNMSM.

#### **3.3. Fundamento del método analítico empleado**

La técnica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres en su estado fundamental. Para que esto ocurra la muestra pasa por un proceso de atomización electrotérmica utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres, formados a partir de un estado energético inferior a otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene un cátodo. La diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa del elemento.<sup>(49)</sup>

### 3.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en una base de datos en el programa *Microsoft Office Excel 2007* consignando los valores de los tipos de reservorios (donde se recolectaron las muestras) y los valores de concentración de cadmio y arsénico. Luego se realizó una base de datos en programa estadístico SPSS v17. Se determinó estadísticas descriptivas cuantitativas (dado que las variables de concentración fueron medidas en forma cuantitativa), medidas de tendencia central (media o promedio) y medidas de dispersión (desviación estándar). Para la comparación entre medias se aplicó la prueba de *Tukey* para muestras independientes, y se fijó el grado de significación para 0,05 (valor consignado por los que realizamos la investigación).

### 3.5. Equipos y materiales

#### 3.5.1. Características del espectrofotómetro de absorción atómica para la medición

Equipo de Absorción Atómica

Marca : SHIMADZU

Modelo : AA-6800



**Figura 7.** Espectrofotómetro de absorción atómica. (USAQ)

### **3.5.2. Accesorios**

Horno de grafito, marca: *SHIMADZU*, modelo: GFA-EX7.

Inyector automático *AUTOSAMPLER*, marca: *SHIMADZU*, modelo: *ASC-6100*.

Computadora estándar (CPU LG, monitor SVGA, teclado *Genius*).  
*Software AA Wizard*.

Balón de gas argón, 99.999 % de pureza.

Fiolas de 100 mL y 50 mL con tapa, vidrio tipo B.

Pipetas volumétricas de: 1, 2, 4, 5, 10, 20 mL.

Micropipetas de 10 y 1000  $\mu\text{L}$ .

Vasos de precipitación de 250 mL.

Tips para micropipetas de 10 y 1000  $\mu\text{L}$ .

### **3.6. Reactivos**

Estándar certificado de arsénico de 1000 mg/L marca *MERCK*.

Estándar certificado de cadmio de 1000 mg/L marca *MERCK*.

Ácido nítrico concentrado para análisis de trazas marca *JT BAKER*.

Agua ultrapura.

### **3.7. Selección de la muestra a examinar**

El estudio se circunscribe a la Comunidad Urbana de Chuquitanta – Distrito de San Martín de Porres, por tratarse de una localidad sin ningún control sanitario sobre la calidad del agua de consumo humano. Esto debido a que aún no cuentan con los servicios básicos de agua potable.

El procedimiento de muestreo usado es el determinístico. Se recolectaron 30 muestras en total: 10 muestras de aguas de consumo humano provenientes del reservorio central de SEDAPAL, 10 muestras de aguas de consumo humano provenientes de camiones cisterna y 10 muestras de aguas de consumo humano provenientes de los cilindros plásticos de los domicilios.

De cada muestra seleccionada se realizaron 2 lecturas (aplicando la metodología analítica de espectrofotometría de absorción atómica por horno grafito): una



lectura para determinar arsénico y otra lectura para determinar cadmio, por lo que se obtendrán un total de 60 lecturas para las 30 muestras recolectadas.

### **3.8. Obtención y recolección de las muestra**

Durante el mes de abril del 2013, se recolectaron las 30 muestras de agua destinadas para consumo humano en frascos estériles debidamente rotulados para evitar confusiones. Las muestras fueron tomadas en distintas partes de la zona de la Comunidad Urbana de Chuquitanta, según la aceptación de los dueños de casa en el caso de los cilindros y los dueños de los camiones cisterna.

#### **3.8.1. Agua de consumo humano proveniente del reservorio central de almacenamiento de SEDAPAL:**

Se recolectaron un total de 10 muestras.

Se realizó el muestreo directamente del caño de distribución del reservorio central de SEDAPAL, donde se abastecían a los camiones cisternas.

Debido a que la muestra fue tomada directamente de los caños, primeramente se procedió a flamear cuidadosamente por 2 minutos todas las partes del caño, especialmente en la boca de descarga. Luego se dejó fluir el agua del caño durante 2 minutos (procedimiento que permite limpiar la salida y descarga el agua que ha estado almacenada en la tubería) y posteriormente se procedió a llenar cuidadosamente los frascos estériles.

#### **3.8.2. Agua de consumo humano provenientes de camiones cisterna:**

Se recolectaron un total de 10 muestras.

Se realizó el muestreo directamente de los camiones cisterna que distribuían agua de consumo humano a los lugares más alejados de la zona sin agua potable.

Debido a que la muestra de agua fue tomada directamente de los camiones cisterna, se procedió a flamear cuidadosamente por 2 minutos todas las partes del caño de descarga, especialmente en la boca. Luego se dejó fluir el agua del caño

durante 2 minutos (procedimiento que permite descargar el contenido del agua dentro del tanque cisterna) y posteriormente se procedió a llenar cuidadosamente los frascos estériles.

### **3.8.3. Aguas de consumo humano provenientes de cilindros plásticos de las viviendas:**

Se recolectaron un total de 10 muestras.

Se realizó el muestreo directamente de los cilindros de almacenamiento de agua de consumo humano, ubicados en el interior o exterior de las casas.

Debido a que la muestra de agua se encontraba en reposo, se sumergió el frasco estéril boca abajo a una profundidad de 30 cm y se llenó el frasco a esa profundidad con un movimiento de éste hacia adelante para evitar que el agua que esté en contacto con la mano ingrese a los frascos estériles.

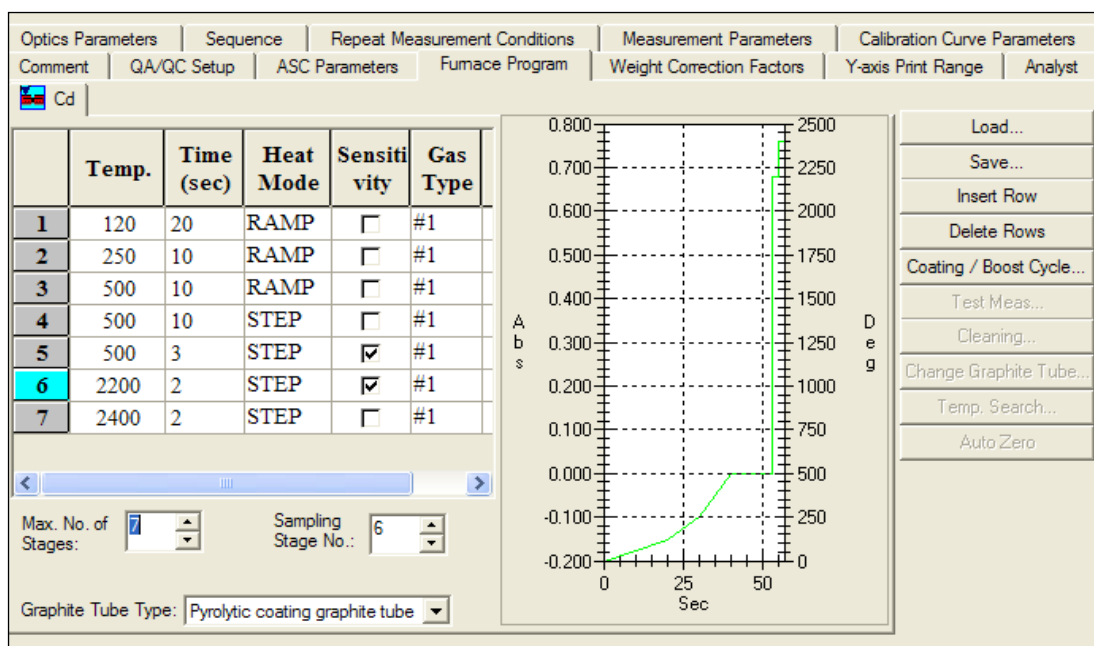
### **3.9. Transporte y conservación de las muestras**

Las 30 muestras recolectadas en los frascos estériles fueron transportadas en un recipiente adecuado y posteriormente almacenadas en refrigeración hasta su lectura en el laboratorio de análisis al día siguiente de realizado el muestreo.

### 3.10. MÉTODOS

#### 3.10.1. Cadmio

##### a) Programa del horno de grafito para detectar cadmio.



**Figura 8.** Programa del horno de grafito para detectar cadmio.

##### b) Condiciones instrumentales para el análisis de cadmio.

- Se usa corrección de fondo (*background*).
- Longitud de onda: 228 nm.
- Slit: 0,5 nm.
- Medida de señal: señal del pico de máxima absorbancia.
- Tubo de grafito con plataforma.
- Volumen de muestra: 25 µL.
- Temperatura programa del Horno grafito:

**Tabla 3.** Temperatura del programa del horno grafito para detectar cadmio.

| TEMPERATURA                    |         |
|--------------------------------|---------|
| Temperatura de secado          | 120 °C  |
| Temperatura de pre tratamiento | 500 °C  |
| Temperatura de atomización     | 2200 °C |

**c) Obtención de la curva de calibración para cadmio.**

**• Preparación de los estándares:**

- Estándar patrón de cadmio, 100 mg/L: Medir 10 mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, enrasar con agua ultrapura. Tiene una duración de 6 meses.
- Estándar patrón de cadmio, 10 mg/L: Medir 10 mL del estándar de 100 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, enrasar con agua ultrapura. Tiene una duración de 3 meses.
- Estándar patrón de cadmio, 1 mg/L: Medir 10 mL del estándar certificado de 10 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, enrasar con diluyente. Tiene una duración de 1 semana.
- Estándar patrón de cadmio, 10 µg/L: Medir 500 µL del estándar certificado de 1 mg/L y llevar a una fiola de 50 mL, enrasar con diluyente. Preparar diariamente.
- Estándar patrón de cadmio, 1 µg/L: Medir 5 mL del estándar certificado de 10 µg/L y llevar a una fiola de 50 mL, enrasar con diluyente. Preparar diariamente.
- Los estándares de calibración de 0,2 µg/L, 0,4 µg/L, y 0,6 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir del estándar de 1 µg/L.
- Se prepara un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

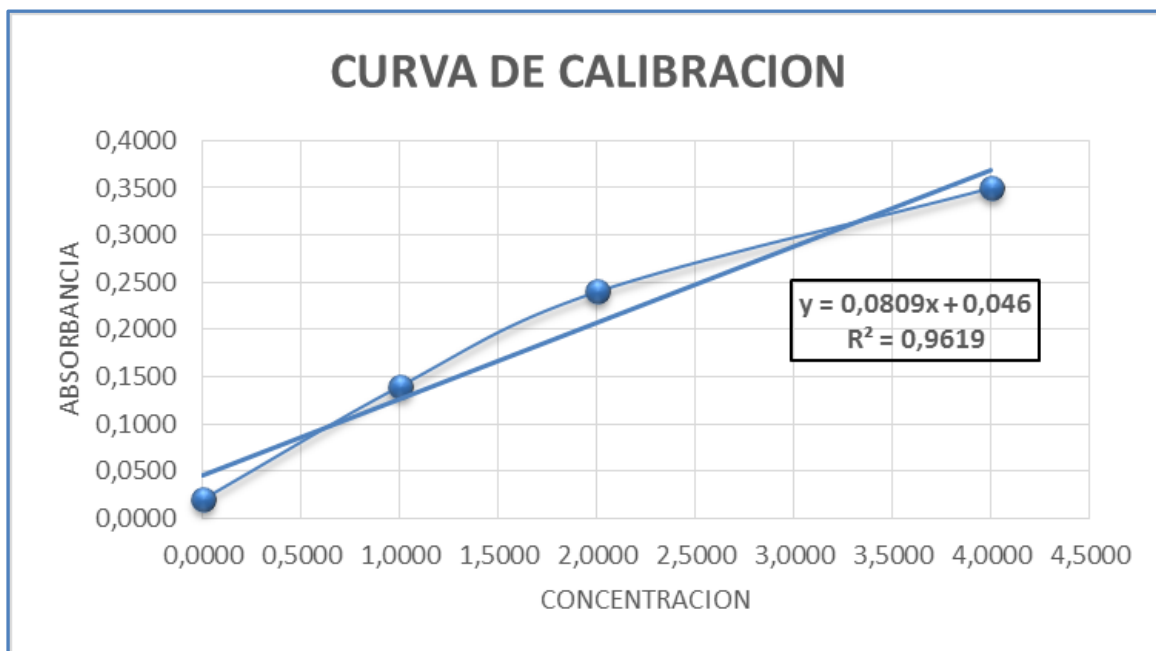
- **Curva de calibración:**

**Tabla 4.** Datos para hallar la curva de calibración del cadmio.

| CONCENTRACIÓN (ppb) | ABSORBANCIA |
|---------------------|-------------|
| 0,0000              | 0,0200      |
| 0,2000              | 0,1400      |
| 0,4000              | 0,2400      |
| 0,6000              | 0,3500      |

- **Ecuación:**  $ABS = 0,545(CONC) + 0,024$
- **Coefficiente de correlación:** 0,9994

El coeficiente de correlación nos permite medir el grado de asociación de las 2 variables cuantitativas; mientras más se aproxime a 1, es más perfecta la correlación entre las variables.



**Figura 9.** Curva de calibración para Cadmio.

### 3.10.2. Arsénico

#### a) Programa del horno de grafito para detectar arsénico.

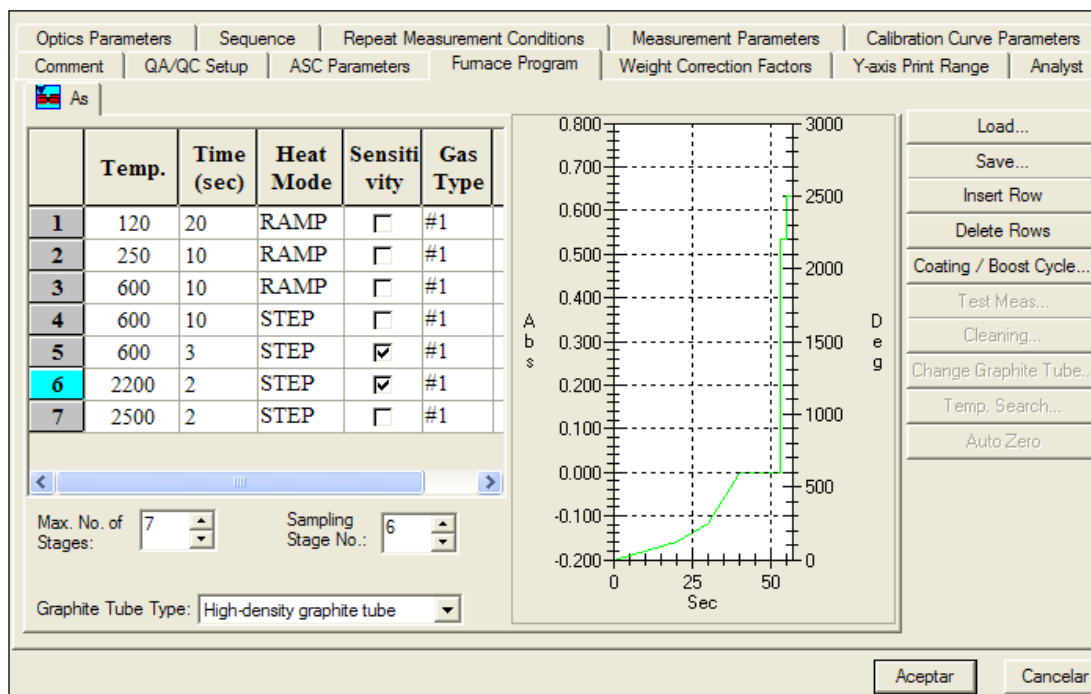


Figura 10. Programa del horno de grafito para detectar arsénico.

#### b) Condiciones instrumentales para el análisis de arsénico.

- Se usa corrección de fondo (*background*).
- Longitud de onda: 193,7 nm.
- Slit: 0,5 nm.
- Medida de señal: Altura del pico.
- Tubo de grafito con plataforma.
- Volumen de muestra: 20  $\mu$ L.
- Temperatura programa del Horno grafito:

**Tabla 5.** Temperatura del programa del horno grafito para detectar arsénico.

| TEMPERATURA                    |         |
|--------------------------------|---------|
| Temperatura de secado          | 120 °C  |
| Temperatura de pre tratamiento | 600 °C  |
| Temperatura de atomización     | 2200 °C |

**c) Obtención de la curva de calibración para arsénico.**

**• Preparación de los estándares:**

- Estándar patrón de arsénico, 100 mg/L: Medir 10 mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, enrasar con agua ultrapura. Tiene una duración de 6 meses.
- Estándar patrón de arsénico, 10 mg/L: Medir 10 mL del estándar de 100 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, enrasar con agua ultrapura. Tiene una duración de 3 meses.
- Estándar patrón de arsénico, 1 mg/L: Medir 10 mL del estándar certificado de 10 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, enrasar con diluyente. Tiene una duración de 1 semana.
- Estándar patrón de arsénico, 10 µg/L: Medir 500 µL del estándar certificado de 1 mg/L y llevar a una fiola de 50 mL, enrasar con diluyente. Preparar diariamente.
- Los estándares de calibración de 1 µg/L, 2 µg/L, 4 µg/L y 8 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir del estándar de 10 µg/L.
- Se prepara un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

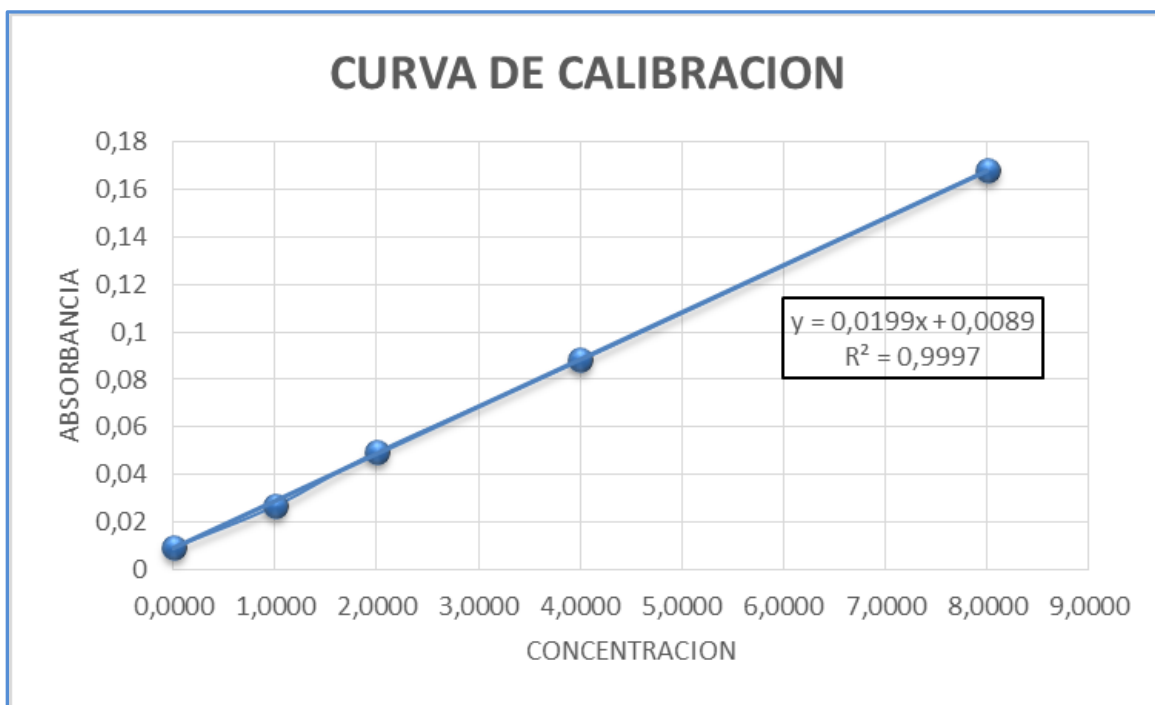
- **Curva de calibración:**

**Tabla 6.** Datos para hallar la curva de calibración del arsénico.

| CONCENTRACIÓN (ppb) | ABSORBANCIA |
|---------------------|-------------|
| 0,0000              | 0,0096      |
| 1,0000              | 0,0271      |
| 2,0000              | 0,0497      |
| 4,0000              | 0,0883      |
| 8,0000              | 0,1680      |

- **Ecuación:**  $ABS = 0,0200025(CONC) + 0,0087125$
- **Coefficiente de correlación:** 0,9999

El coeficiente de correlación nos permite medir el grado de asociación de las 2 variables cuantitativas; mientras más se aproxime a 1, es más perfecta la correlación entre las variables.



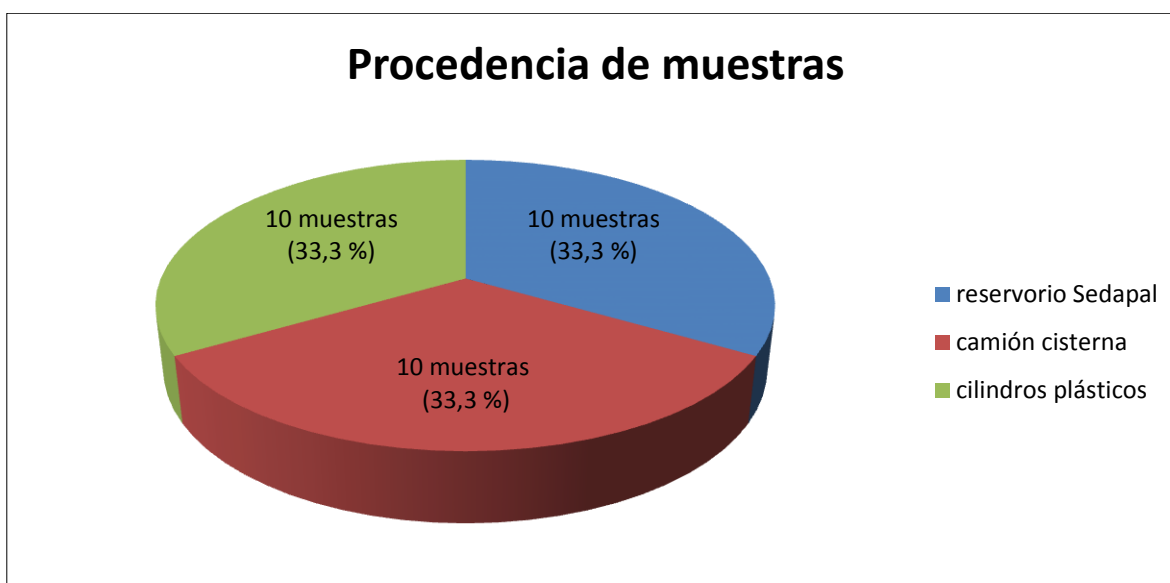
**Figura 11.** Curva de calibración para Arsénico.



## IV. RESULTADOS

**Tabla 7.** Distribución de las muestras de agua según su procedencia.

| PROCEDENCIA   | N°        |
|---|-----------|
| Aguas de consumo humano provenientes reservorio central de SEDAPAL                | 10        |
| Aguas de consumo humano provenientes de camión cisterna                           | 10        |
| Aguas de consumo humano provenientes de los cilindros plásticos de los domicilios | 10        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>30</b> |



**Figura 12.** Gráfica de porcentajes según procedencia de muestras.

**Tabla 8.** RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO DE LA COMUNIDAD URBANA DE CHUQUITANTA – DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES

| ORIGEN DE LA MUESTRA           | CADMIO   | ARSÉNICO |
|--------------------------------|----------|----------|
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,01 ppb | 1,40 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,06 ppb | 1,21 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,40 ppb | 1,08 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,12 ppb | 1,38 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,27 ppb | 1,26 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,01 ppb | 1,40 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,06 ppb | 1,21 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,40 ppb | 1,08 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,12 ppb | 1,38 ppb |
| Reservorio central de SEDAPAL  | 4,27 ppb | 1,26 ppb |
| Camión cisterna                | 4,51 ppb | 1,17 ppb |
| Camión cisterna                | 4,36 ppb | 1,35 ppb |
| Camión cisterna                | 4,23 ppb | 1,14 ppb |
| Camión cisterna                | 4,39 ppb | 1,20 ppb |
| Camión cisterna                | 4,46 ppb | 1,19 ppb |
| Camión cisterna                | 4,51 ppb | 1,17 ppb |
| Camión cisterna                | 4,36 ppb | 1,35 ppb |
| Camión cisterna                | 4,23 ppb | 1,14 ppb |
| Camión cisterna                | 4,39 ppb | 1,20 ppb |
| Camión cisterna                | 4,46 ppb | 1,19 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,05 ppb | 1,70 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,10 ppb | 1,41 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,03 ppb | 1,90 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,14 ppb | 1,63 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,07 ppb | 1,72 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,05 ppb | 1,70 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,10 ppb | 1,41 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,03 ppb | 1,90 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,14 ppb | 1,63 ppb |
| Cilindro plástico de las casas | 1,07 ppb | 1,72 ppb |

**Tabla 9.** Media y desviación estándar de los valores de cadmio en ppb  
(Muestras provenientes reservorio central de SEDAPAL).

| Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-------|---------------------|--------|--------|
| 4,17  | 0,15                | 4,01   | 4,40   |

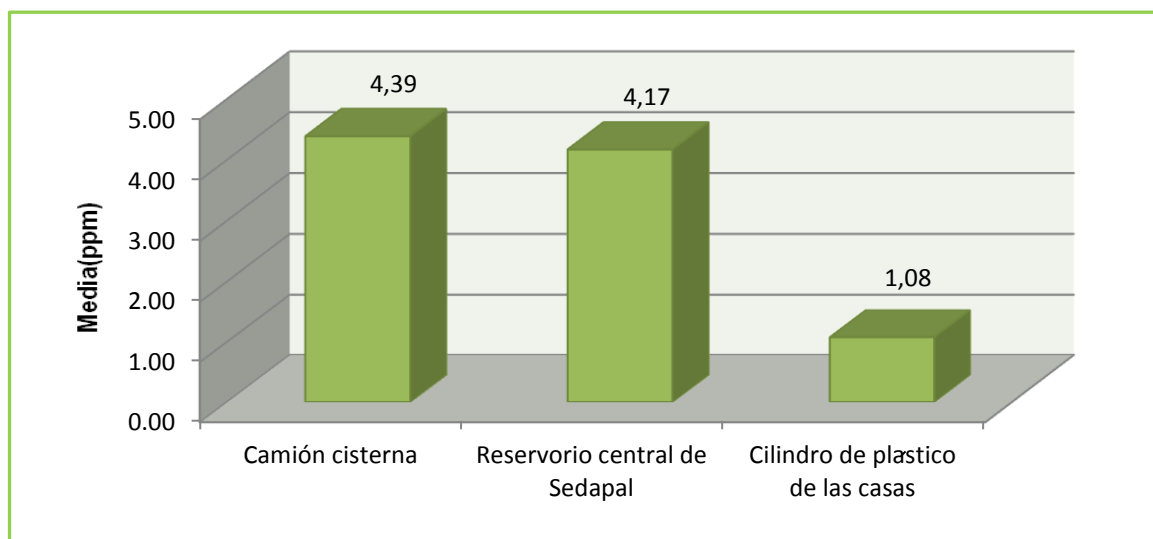
**Tabla 10.** Media y desviación estándar de los valores de cadmio en ppb  
(Muestras provenientes de camión cisterna).

| Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-------|---------------------|--------|--------|
| 4,39  | 0,10                | 4,23   | 4,51   |

**Tabla 11.** Media y desviación estándar de los valores de cadmio en ppb  
(Muestras provenientes de cilindros plásticos de las casas).

| Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-------|---------------------|--------|--------|
| 1,08  | 0,04                | 1,03   | 1,14   |

**NOTA:** Límite máximo permisible dado por la Organización Mundial de la Salud y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú: 3 ppb <sup>(15)</sup>



**Figura 13.** Gráfico comparativo para Cadmio.

**Tabla 12.** Media y desviación estándar de los valores de arsénico en ppb  
(Muestras provenientes del reservorio central de SEDAPAL).

| Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-------|---------------------|--------|--------|
| 1,27  | 0,12                | 1,08   | 1,40   |

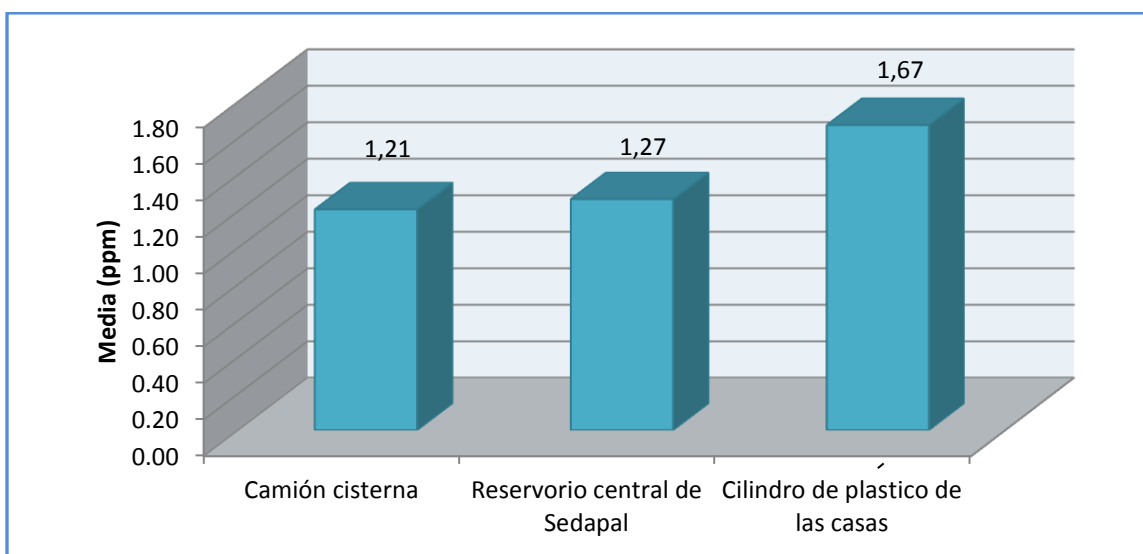
**Tabla 13.** Media y desviación estándar de los valores de arsénico en ppb  
(Muestras provenientes de camión cisterna).

| Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-------|---------------------|--------|--------|
| 1,21  | 0,077               | 1,14   | 1,35   |

**Tabla 14.** Media y desviación estándar de los valores de arsénico en ppb  
(Muestras provenientes de cilindros plásticos de las casas).

| Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-------|---------------------|--------|--------|
| 1,67  | 0,167               | 1,41   | 1,90   |

**NOTA:** Límite máximo permisible dado por la Organización Mundial de la Salud y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú: 10 ppb <sup>(15)</sup>



**Figura 14.** Gráfico comparativo para Arsénico.

**Tabla 15.** ANOVA de los valores de cadmio según recipientes.

|  | N  | MEDIA | DESVIACIÓN<br>TÍPICA | ANOVA    | PRUEBA DE TUKEY                     |                    |                                      |
|--|----|-------|----------------------|----------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
|  |    |       |                      |          | RESERVORIO<br>CENTRAL DE<br>SEDAPAL | CAMIÓN<br>CISTERNA | CILINDRO<br>PLÁSTICO DE<br>LAS CASAS |
| <b>Reservorio<br/>central de<br/>SEDAPAL</b> | 10 | 4,17  | 0,15                 | P=0,000* |                                     |                    | P=0,000**                            |
| <b>Camión cisterna</b>                       | 10 | 4,39  | 0,10                 |          | P=0,000**                           |                    | P=0,000**                            |
| <b>Cilindro plástico<br/>de las casas</b>    | 10 | 1,08  | 0,04                 |          |                                     |                    |                                      |

\*P < 0,05 existe diferencias significativas, Anova.

\*\* P < 0,05 existe diferencias significativas, Prueba de comparaciones pareadas de Tukey.

**Tabla 16.** ANOVA de los valores de arsénico según recipientes.

|   | N  | MEDIA | DESVIACIÓN<br>TÍPICA | ANOVA    | PRUEBA DE TUKEY                     |                    |                                      |
|---|----|-------|----------------------|----------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
|   |    |       |                      |          | RESERVORIO<br>CENTRAL DE<br>SEDAPAL | CAMIÓN<br>CISTERNA | CILINDRO<br>PLÁSTICO DE<br>LAS CASAS |
| <b>Reservorio<br/>central de<br/>SEDAPAL</b>    | 10 | 1,27  | 0,12                 | P=0,000* |                                     |                    | P=0,000**                            |
| <b>Camión cisterna</b>                          | 10 | 1,21  | 0,08                 |          |                                     |                    | P=0,000**                            |
| <b>Cilindros<br/>plásticos de las<br/>casas</b> | 10 | 1,67  | 0,17                 |          |                                     |                    |                                      |

\*P < 0,05 existe diferencias significativas, Anova.

\*\*P < 0,05 existe diferencias significativas, Prueba de comparaciones pareadas de Tukey.

## V. DISCUSIÓN

El agua es un elemento fundamental y determinante en la vida humana. La escasez y el uso abusivo del agua plantean una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. La salud y el bienestar humano, la seguridad alimenticia, el crecimiento industrial y el ecosistema del que dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectúe en la actualidad de forma más eficaz que en el pasado. <sup>(28)</sup>

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación han determinado la concentración de cadmio y arsénico en 30 muestras de aguas de consumo humano provenientes de distintas zonas de la Comunidad Urbana de Chuquitanta – distrito de San Martín de Porres; se puede apreciar de la Tabla N° 7 y la Figura N° 12 que: 33,3 % (10 muestras) corresponden a las muestras de agua para consumo humano provenientes del reservorio central de SEDAPAL, 33,3 % (10 muestras) corresponden a las muestras de agua para consumo humano provenientes de camión cisterna y el 33,3 % restante (10 muestras) corresponden a las muestras de agua para consumo humano provenientes de cilindros plásticos de las viviendas de la zona.

La presencia de agua contaminada por arsénico adquirió mayor importancia tras lo sucedido en Bangladesh (año 1993) donde empezaron a presentarse enfermos intoxicados por arsénico y se detectó una altísima concentración de ese metal en el agua. El agua potable de Bangladesh llegó a tener hasta 2 mg/L, 200 veces más de lo que admite la OMS, En 1998, el Banco Mundial calificó la situación como “el mayor envenenamiento de población de la historia”. <sup>(28)</sup>

De la tabla N° 9, se aprecia que la media de los valores de cadmio en muestras provenientes del reservorio central de SEDAPAL es de 4,17 ppb; cuya dispersión de sus aguas varía en un 0,15 ppb. Un valor mínimo de 4,01 ppb y un valor máximo de 4,40 ppb.

De la tabla N° 10, se aprecia que la media de los valores de cadmio en muestras provenientes de camión cisterna es de 4,39 ppb; cuya dispersión de sus aguas varía en un 0,10 ppb. Un valor mínimo de 4,23 ppb y un valor máximo de 4,51 ppb.

De la tabla N° 11, se aprecia que la media de los valores de cadmio en muestras provenientes de cilindros plásticos de las casas es de 1,08 ppb; cuya dispersión de sus aguas varía en un 0,04 ppb. Un valor mínimo de 1,03 ppb y un valor máximo de 1,14 ppb.

De la tabla N° 15, se aprecia que el cadmio en camiones cisterna es mayor significativamente que en reservorio central de SEDAPAL  $P < 0,05$ ; el cadmio en camiones cisterna es mayor significativamente que en cilindros plásticos de las casas  $P < 0,05$  y el cadmio en el reservorio central de SEDAPAL es mayor significativamente que en cilindros plásticos de las casas  $P < 0,05$ .

De acuerdo a lo mencionado, se observa que la concentración media de cadmio en aguas de consumo humano provenientes del reservorio central de SEDAPAL y provenientes de camiones cisterna, superan los límites máximo permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú:  $0,003 \text{ mg/L} = 3 \text{ ppb}$ .

De la tabla N° 12, se aprecia que la media de arsénico en muestras provenientes del reservorio central de SEDAPAL es de 1,27 ppb; cuya dispersión de sus aguas varía en un 0,12 ppb. Un valor mínimo de 1,08 ppb y un valor máximo de 1,40 ppb.

De la tabla N° 13, se aprecia que la media de arsénico en muestras provenientes de camión cisterna es de 1,21 ppb; cuya dispersión de sus aguas varía en un 0,077 ppb. Un valor mínimo de 1,14 ppb y un valor máximo de 1,35 ppb.

De la tabla N° 14, se aprecia que la media de arsénico en muestras provenientes de cilindros plásticos de las casas es de 1,67 ppb; cuya dispersión de sus aguas varía en un 0,167 ppb. Un valor mínimo de 1,41 ppb y un valor máximo de 1,90 ppb.

De la tabla N° 16, se aprecia que el arsénico en cilindros plásticos de las casas es mayor significativamente que en el reservorio central de SEDAPAL  $P < 0,05$ ; el arsénico en cilindros plásticos de las casas es mayor significativamente que en camión cisterna  $P < 0,05$  y el arsénico en el reservorio central de SEDAPAL es mayor significativamente que en camión cisterna  $P < 0,05$ .

De acuerdo a lo mencionado, se observa que la concentración media de arsénico en aguas de consumo humano provenientes del reservorio central de SEDAPAL, provenientes de camiones cisterna, y provenientes de cilindros plásticos de las casas, no superan los límites máximo permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú:  $0,01 \text{ mg/L} = 10 \text{ ppb}$ .



## **VI. CONCLUSIONES**

- 6.1.** La concentración media de las muestras de agua provenientes de cilindros plásticos de las casas fue de 1,08 ppb para cadmio y 1,67 ppb para arsénico; ambas concentraciones medias fueron inferiores al límite máximo permisible dado por la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú: 3 ppb para cadmio y 10 ppb para arsénico.
- 6.2.** La concentración media de las muestras de agua provenientes de camiones cisterna fue de 4,39 ppb para cadmio y 1,21 ppb para arsénico; tales concentraciones medias fueron superior e inferior respectivamente al límite máximo permisible dado por la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú: 3 ppb para cadmio y 10 ppb para arsénico.
- 6.3.** La concentración media de las muestras de agua provenientes del reservorio central de SEDAPAL fue de 4,17 ppb para cadmio y 1,27 ppb para arsénico; tales concentraciones medias fueron superior e inferior respectivamente al límite máximo permisible dado por la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú: 3 ppb para cadmio y 10 ppb para arsénico.
- 6.4.** La concentración media para cadmio en las muestras de camiones cisterna fue mayor significativamente que en el reservorio central de SEDAPAL y los cilindros plásticos de las casas, asimismo la concentración media en las muestras del reservorio central de SEDAPAL fue mayor significativamente que en los cilindros plásticos de las casas. La concentración media para arsénico en las muestras de cilindros plásticos de las casas fue mayor significativamente que en el reservorio central de SEDAPAL y que en los camiones cisterna, asimismo la concentración media en las muestras del reservorio central de SEDAPAL fue mayor significativamente que en los camiones cisterna.

## **RECOMENDACIONES**

Se debe realizar este tipo de estudios en otros distritos de Lima Metropolitana para hacer un seguimiento de la calidad del agua de consumo humano que se abastece a los habitantes y presentar los resultados obtenidos a las autoridades de Salud de tal manera que se realicen las medidas preventivas y correctivas para lograr que la calidad e inocuidad del agua sea la mayor posible.

Se debe realizar este tipo de estudios de cadmio y arsénico en aguas para consumo humano, teniendo en cuenta otros indicadores tóxicos bioacumulables en el organismo y así tener una visión completa de la problemática asociada a los contaminantes tóxicos del agua de consumo humano.

Se deben realizar estudios epidemiológicos en los lugares donde se consume agua con valores de concentración de cadmio que superen la concentración máxima permisible dados por la Organización Mundial de la Salud y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú: 0,003 mg/L (3 ppb), para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad.

## VII. REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

1. Ministerio de Salud. **Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA. Dirección General de Salud Ambiental.** Lima: Ministerio de Salud, 2010: 44.
2. FAO/OMS. **Evaluación de diversos aditivos alimentarios y de los contaminantes Pb, Cd y Hg.** Serie Inf. Tec. N° 505. Ginebra, 1973: 1-28, 32-35.
3. Chamizo H, et al. **Introducción a la Interface Salud Ambiente.** Curso Especial de Postgrado Atención Integral de Salud [Curso Especial de Postgrado en línea]. Costa Rica: CENDEISS, 2003. [acceso 4 de agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.cendeiss.sa.cr/posgrados/modulos/modulo8gestion.pdf>
4. Rojas R. **Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente. Lima: 2002.
5. Järup L. **Hazards of heavy metal contamination.** Brit Med Bull. 2003; 68: 167-82.
6. Ramírez A. **Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos.** Anales de la Facultad de Medicina. 2002; 63 (1): 51-64.
7. Picoli C. **Efectos del cadmio en la mucosa yugal de la rata durante la lactancia. Estudio morfológico e histométrico.** Temuco. Int. J. Morphol. 2003; 21 (3): 191-198.
8. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los E.E.U.U. Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. **Perfil Toxicológico del Cadmio** [En línea]. USA; 2008. [acceso 6 de agosto del 2014]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html)
9. Ladrón de Guevara J, Moya V. **Toxicología médica, clínica y laboral.** [en línea]. Madrid: Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2001. [acceso 12 de

agosto del 2014]. Disponible en:  
[http://www.apaprevencion.com/fotos/articulos\\_tecnicos/P178\\_3.pdf](http://www.apaprevencion.com/fotos/articulos_tecnicos/P178_3.pdf)

10. García M. **Evaluación del riesgo por toxicidad crónica a la exposición de Cadmio en animales de experimentación.** [Tesis para optar el grado académico de Doctor en Farmacia y Bioquímica]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2009.
11. Badillo J, Gloria J. **Capítulo 12: Cadmio.** En: Curso Básico de Toxicología Ambiental. México: Editorial Lilia A. Albert, 1985: 205-231.
12. Cedano K, Requena L. **Estudio toxicológico de los niveles de concentración de cadmio, manganeso y plomo, en sangre y/u orina en personas expuestas en las avenidas Abancay y Alfonso Ugarte de la ciudad de Lima.** [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
13. Galvão L, Corey G. **Serie de vigilancia 4 – Cadmio.** Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México. 1987.
14. Cedano K, Requena L. **Estudio toxicológico de los niveles de concentración de cadmio, manganeso y plomo, en sangre y/u orina en personas expuestas en las avenidas Abancay y Alfonso Ugarte de la ciudad de Lima.** [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
15. Organización Mundial de la Salud. **Guías para la calidad del agua potable.** Ginebra, 2006.
16. Lewis G, Coughlin L, Jusko W. **Contribution of cigarette smoking to cadmium accumulation in man.** The Lancet. 1972; 299: 291-292.
17. Goodman & Gilman. **Capítulo 65: Metales pesados y sus antagonistas.** En: Las bases farmacológicas de la terapéutica. México: Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2007: 1763-1768.
18. Reilly C. **Metal contamination of food.** Elsevier Applied Science, 1991: 3-151.
19. Flanagan PR, Mc Lellan JS, Haist J, Cherian MG, Valberg LS. **Increase dietary cadmium absorption in mice and human subjects with iron deficiency.** Gastroenterology, 1978; 74: 841-846.

20. López-Artíguez M, Repetto M. **Estado actual de la toxicología del cadmio**. En: M. Repetto Toxicología Avanzada. Madrid: ed. Toxicología Avanzada, 1995:393-423.
21. González-Padrón A, González-Iglesias JL, Hardisson A. **El cadmio y la influencia de las metalotioneínas y los agentes quelantes en su toxicidad**. Rev Toxicol, 1995; 12: 86-91.
22. Osorio L, Tovar A, Fortoul Van der Goes T. **Capítulo 13: Cadmio**. En: Introducción a la toxicología ambiental. México: ECO, 1997: 211-226.
23. González E. **Toxicocinética y evaluación de riesgos para la salud producidos por exposición al cadmio**. Medicina y Seguridad del Trabajo. 1988; 35: 3-17.
24. International Programme on Chemical Safety (IPCS) INCHEM. **Lead Inorganic** (PIM 301). [Sede Web en línea]. USA, 2009. [acceso 15 de agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/inorglea.html>
25. Infante L, Palomino S. **Cuantificación espectrofotométrica de arsénico en aguas de consumo humano en la vertiente del río Rímac**. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1994.
26. Castro J. **Capítulo 14: Arsénico**. En: Curso Básico de Toxicología Ambiental. México: Editorial Lilia A. Albert, 1985: 245-264.
27. **Ingeniería Civil y Medio ambiente**. [acceso 18 de agosto del 2014]. Disponible en: [http://www.miliarium.com/monografias/Arsenico/ProblematicaCastilla\\_Leon.asp](http://www.miliarium.com/monografias/Arsenico/ProblematicaCastilla_Leon.asp)
28. Real Academia Nacional de Farmacia. **El arsénico y la salud**. [artículo en línea]. Anales ranf 2012. [acceso 15 de agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/600/617>
29. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. **Metales pesados y arsénicos**. [en línea]. Euskadi 2012. [acceso 28 de agosto del 2014]. Disponible en:

[http://www.osakidetza.euskadi.net/r8520339/es/contenidos/informacion/sanidad\\_alimentaria/es\\_1247/adjuntos/vigila9508.pdf](http://www.osakidetza.euskadi.net/r8520339/es/contenidos/informacion/sanidad_alimentaria/es_1247/adjuntos/vigila9508.pdf)

30. Albores A, Quintanilla B, Del Razo L, Cebrián M. **Capítulo 15: Arsénico.** En: Introducción a la toxicología ambiental. México: ECO, 1997: 247-261.
31. Galvão L, Corey G. **Serie de vigilancia 3 – Arsénico.** Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México. 1987.
32. Buchet J, Lauwerys R, Roels H. **Comparison of the urinary excretion of arsenic metabolites after a single oral dose of sodium arsenite, monomethylarsonate or dimethylarsinate in man.** Int Arch Occup Environ Health. 1981; 48: 71-79.
33. Benramdane L, Accominotti M, Fanton L, et al. **Arsenic speciation in human organs following fatal arsenic trioxide poisoning a case report.** Clin Chem. 1999; 45 (2): 301-306.
34. **Health assessment document for inorganic arsenic.** Research Triangle Park. NC: US Environmental Protection Agency, 1984. Report No.: EPA-600/8-83-021F.
35. Menzel D, Ross M, Oddo S, et al. **A physiologically based pharmacokinetic model for ingested arsenic.** Environ Geochem Health. 1994; 16: 209-218.
36. Flores E, Pérez J. **Determinación de arsénico por absorción atómica en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra.** [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2009.
37. Vahter M, Friberg L, Rahnster B, et al. **Airborne arsenic and urinary excretion of metabolites of inorganic arsenic among smelter workers.** Int Arch Occup Environ Health. 1986; 57: 79-91.
38. Flores A, Márquez J. **Determinación de plomo, cadmio y arsénico en sangre total de personas expuestas no ocupacionalmente del AA.HH. “Nueva Caja de Agua”.** [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1995.

39. Castro de Esparza M. **Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública.** CEPIS-SB/SDE/OPS. 2006: 9-10.
40. Organización Mundial de la Salud. **Mitigación de los efectos del arsénico presente en las aguas subterráneas.** Consejo ejecutivo, 118º reunión. Ginebra, 2006.
41. Suarez M, Gonzales-Delgado F, Gonzales D, Rubio C, Hardisson A. **Análisis, diagnósticos y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales.** Cuadernos de medicina forense. España, 2004.
42. Piola J, Navone H, Prada D, Evangelista M, Walkman. **Niveles de exposición a arsénico en agua de bebida y riesgo relativo de cáncer de piel, en Máximo Paz, Santa Fe, Argentina.** Servicio de Toxicología del sanatorio de niños (SERTOX). Rosario, 2003.
43. INHEM - Cuba. **Evaluación sanitaria de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en aguas destinadas al consumo.** ECO/OPS. México, 1992: 44-49.
44. Pérez J. **Determinación de cadmio y plomo en agua de consumo humano directo.** [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1994.
45. Blanco A, et al. **Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca.** Rev Esp Salud Pública. 1998; 72 (1): 53-65.
46. Flores Y. **Análisis químico toxicológico y determinación de arsénico en aguas de consumo directo en la provincia de Huaytará, departamento de Huancavelica.** [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1999.
47. Smith A, Lingas E, Rahman M. **Contaminación del agua bebida con arsénico en Bangladesh: una emergencia de salud pública.** Boletín de la Organización Mundial de la Salud. 2000.
48. Aliaga M. **Situación ambiental del recurso hídrico en la cuenca baja del río Chillón y su factibilidad de recuperación para el desarrollo sostenible.** [Tesis para optar el Título de Maestro en Ciencias con



mencción: Tratamiento de agua y reuso de desechos]. Lima; Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Sección de Posgrado y segunda especialización; 2010.

49. Bender G. **Métodos Instrumentales de análisis en química clínica**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1992; 1: 115-117.



## ANEXOS

- Informe de ensayo

|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS</b><br><b>FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS</b> |  |
|---|---|---|

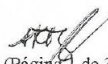
**INFORME DE ENSAYO**  
**N° 168-2013**

Cliente : UNMSM - Facult. FARMACIA Y BIOQUÍMICA  
 Dirección : Jr. Puno 1002 - Lima  
 Atención : Mg. José Apesteguía I. / Luis Gonzáles y Johél Osorio  
 Referencia USAQ : 123-01/15  
 Muestra : AGUA POTABLE  
 Cotización : 058-2013/USAQ  
 Fecha de Recepción : 09/04/2013  
 Fecha de Emisión : 19/04/2013

**RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA POTABLE**

| Código de Muestra USAQ. | Referencia del Cliente | Determinación      | Resultados           |
|-------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| 123-01                  | AGUA (CISTERNA)<br># 1 | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,17 ppb<br>4,51 ppb |
| 102-02                  | AGUA (CISTERNA)<br># 2 | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,35 ppb<br>4,36 ppb |
| 123-03                  | AGUA (CISTERNA)<br># 3 | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,14 ppb<br>4,23 ppb |
| 102-04                  | AGUA (CISTERNA)<br># 4 | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,20 ppb<br>4,39 ppb |
| 102-05                  | AGUA (CISTERNA)<br># 5 | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,19 ppb<br>4,46 ppb |

Muestra Proporcionada por el Cliente

  
 IE-168-2013 UNMSM-FFyBIOQUIM. (Página 1 de 3)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA  
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

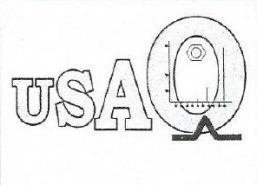



**RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA POTABLE**

| Código de Muestra USAQ. | Referencia del Cliente | Determinación      | Resultados           |
|-------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| 123-06                  | AGUA (SEDAPAL)<br># 1  | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,40 ppb<br>4,01 ppb |
| 102-07                  | AGUA (SEDAPAL)<br># 2  | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,21 ppb<br>4,06 ppb |
| 123-08                  | AGUA (SEDAPAL)<br># 3  | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,08 ppb<br>4,40 ppb |
| 102-09                  | AGUA (SEDAPAL)<br># 4  | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,38 ppb<br>4,12 ppb |
| 102-10                  | AGUA (SEDAPAL)<br># 5  | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,26 ppb<br>4,27 ppb |

Muestra Proporcionada por el Cliente

IE-168-2013 UNMSM-FFyBIOQUIM. (Página 2 de 3)


|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <p>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS</p> <p>FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS</p> |  |
|---|---|---|

**RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA POTABLE**

| Código de Muestra USAQ. | Referencia del Cliente | Determinación      | Resultados           |
|-------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| 123-11                  | AGUA (CASAS)<br># 1    | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,70 ppb<br>1,05 ppb |
| 102-12                  | AGUA (CASAS)<br># 2    | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,41 ppb<br>1,10 ppb |
| 123-13                  | AGUA (CASAS)<br># 3    | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,90 ppb<br>1,03 ppb |
| 102-14                  | AGUA (CASAS)<br># 4    | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,63 ppb<br>1,14 ppb |
| 102-15                  | AGUA (CASAS)<br># 5    | ARSÉNICO<br>CADMIO | 1,72 ppb<br>1,07 ppb |

Muestra Proporcionada por el Cliente

**Métodos:** Determinación de Metales por Absorción Atómica/Horno de Grafito Metales GFAAS USAQ-ME-15

  
 Quím. María Angélica Rodríguez Best  
 Directora de la USAQ  
 CQP: 597

Nota: El presente informe sólo es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada, cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente informe lo anula automáticamente.

Observ: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendarios de entregado el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.

- **Secuencia de actividades realizadas**





- Fotos de toma de muestra



**Comunidad Urbana de Chuquitanta – Distrito de San Martín de Porres**





**Toma de muestra de agua para consumo humano - Comunidad Urbana de Chuquitanta**

